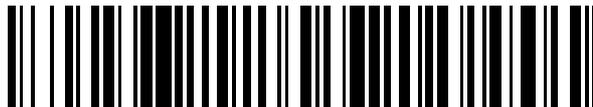


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 440 542**

51 Int. Cl.:

H04L 1/00 (2006.01)

H04L 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.10.2003 E 09001390 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.11.2013 EP 2061173**

54 Título: **Sistema MIMO con múltiples modos de multiplexado espacial**

30 Prioridad:

25.10.2002 US 421309 P
23.10.2003 US 693429

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.01.2014

73 Titular/es:

QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)
5775 MOREHOUSE DRIVE
SAN DIEGO, CA 92121-1714, US

72 Inventor/es:

WALTON, RODNEY J.;
WALLACE, MARK;
KETCHUM, JOHN W. y
HOWARD, STEVEN J.

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 440 542 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema MIMO con múltiples modos de multiplexado espacial

Antecedentes

5 La presente invención se refiere, en general, a comunicación de datos y, más específicamente, a técnicas para facilitar el acceso aleatorio en sistemas de comunicación inalámbrica de acceso múltiple.

Antecedentes

10 Los sistemas inalámbricos de comunicación están ampliamente desplegados para proporcionar varios tipos de comunicaciones tal como voz, paquetes de datos y otras similares. Estos sistemas pueden ser sistemas de acceso múltiple capaces de soportar comunicaciones con múltiples terminales de usuario compartiendo los recursos disponibles en el sistema. Ejemplos de dichos sistemas de acceso múltiple incluyen los sistemas de acceso múltiple por división de código (CDMA), sistemas de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) y sistemas de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).

15 En los sistemas de comunicación de acceso múltiple, un cierto número de terminales de usuario puede desear obtener acceso al sistema en momentos aleatorios. Estos terminales de usuarios pueden o no haberse registrado con el sistema, pueden tener una temporización que se esté desviando con respecto a la temporización del sistema y pueden tener o no conocimiento de los retrasos de propagación a sus puntos de acceso. Consecuentemente, las transmisiones desde los terminales de usuario que intentan obtener acceso al sistema pueden tener lugar en momentos aleatorios y pueden o no estar apropiadamente alineadas en el tiempo en un

Hay por lo tanto una necesidad en la técnica para un sistema MIMO capaz de conseguir un rendimiento mejorado.

20 El documento US 6351499 describe un sistema inalámbrico que usa múltiples antenas y un control adaptativo para maximizar un parámetro de comunicación.

Sumario

De acuerdo con la invención se proporciona el procedimiento de la reivindicación 1.

De acuerdo con la invención se proporciona el aparato de la reivindicación 6.

25 Varios aspectos de las realizaciones de la invención se describen con más detalle a continuación.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 muestra un sistema MIMO de acceso múltiple;
 la FIG. 2 muestra una estructura de trama y canal para el sistema MIMO;
 la FIG. 3 muestra un punto de acceso y dos terminales de usuario en el sistema MIMO;
 30 la FIG. 4 muestra un procesador de datos de transmisión (TX) en el punto de acceso;
 la FIG. 5 muestra un procesador espacial de TX y moduladores en el punto de acceso;
 la FIG. 6 muestra demoduladores y un procesador espacial de recepción (RX) en un terminal de usuario de antena múltiple;
 la FIG. 7 muestra un procesador de datos de RX en el terminal de usuario de antena múltiple;
 35 la FIG. 8 muestra un procesador espacial de RX y un procesador de datos de RX que implementan una técnica de cancelación sucesiva de interferencias (SIC);
 la FIG. 9 muestra las cadenas de transmisión/recepción en el punto de acceso y el terminal de usuario;
 la FIG. 10 muestra un mecanismo de control de la velocidad en bucle cerrado;
 la FIG. 11 muestra un controlador y un planificador para la planificación de los terminales de usuario;
 40 la FIG. 12 muestra un proceso para la planificación de los terminales de usuario para transmisión de datos;
 la FIG. 13 muestra un proceso para la transmisión de datos en el enlace descendente; y
 la FIG. 14 muestra un proceso para la recepción de datos en el enlace ascendente.

Descripción detallada

45 La palabra "ejemplar" se usa en el presente documento para indicar que "sirve como un ejemplo, caso o ilustración". Cualquier realización descrita en el presente documento como "ejemplar" no se debe interpretar necesariamente como preferida o ventajosa sobre otras realizaciones.

50 Un sistema MIMO puede utilizar una portadora única o múltiples portadoras para transmisión de datos. Las múltiples portadoras pueden proporcionarse mediante multiplexado por división de frecuencia ortogonal (OFDM), otras técnicas de modulación de portadora múltiple o algunas otras construcciones. La OFDM particiona de modo efectivo el ancho de banda global del sistema en múltiples subbandas ortogonales (N_F), que se denominan comúnmente como tonos, bins, portadoras y canales de frecuencia. Con OFDM, cada subbanda se asocia con una portadora respectiva que se puede modular con datos. La descripción a continuación es para un sistema MIMO que utiliza

OFDM. Sin embargo, los conceptos descritos en el presente documento son igualmente aplicables para un sistema MIMO de portadora única.

El sistema MIMO soporta múltiples modos de multiplexado espacial para rendimiento mejorado y mayor flexibilidad.

La Tabla 1 lista los modos de multiplexado espacial soportados y sus descripciones breves.

5

Tabla 1

Modo de Multiplexado Espacial	Descripción
Dirigido de Usuario único	Se transmiten múltiples transmisiones continuas de datos en canales espaciales ortogonales a un único receptor.
No dirigido de Usuario único	Se transmiten múltiples transmisiones continuas de datos desde múltiples antenas a un único receptor sin procesamiento espacial en un transmisor.
Dirigido de Múltiples usuarios	Se transmiten múltiples transmisiones continuas de datos simultáneamente (1) desde un único transmisor a múltiples receptores o (2) desde múltiples transmisores a un único receptor, ambas con procesamiento espacial en el transmisor o transmisores.
No dirigido de Múltiples usuarios	Se transmiten múltiples transmisiones continuas de datos simultáneamente (1) desde múltiples transmisores a un único receptor o (2) desde un único transmisor a múltiples receptores, ambas sin procesamiento espacial en el transmisor o transmisores.

El sistema MIMO puede también soportar otros y/o diferentes modos de multiplexado espacial y todo ello dentro del ámbito de la invención.

10 Cada modo de multiplexado espacial tiene diferentes capacidades y requisitos. Los modos de multiplexado espacial dirigido pueden conseguir típicamente un mejor rendimiento pero sólo se pueden usar si el transmisor tiene suficiente información del estado del canal para ortogonalizar los canales espaciales a través de la descomposición o alguna otra técnica, como se describe a continuación. Los modos de multiplexado espacial no dirigidos requieren poca información para transmitir simultáneamente múltiples transmisiones continuas de datos, pero el rendimiento no puede ser tan bueno como en los modos de multiplexado espacial dirigidos. Se puede seleccionar un modo de multiplexado espacial adecuado para su uso dependiendo de la información de estado del canal disponible, las capacidades del transmisor y receptor, los requisitos del sistema y otros similares. Cada uno de estos modos de multiplexado espacial se describe a continuación.

15

1. Modo de multiplexado espacial Dirigido de Usuario único

20 Un canal MIMO selectivo en frecuencia formado por N_T antenas transmisoras y N_R antenas receptoras puede caracterizarse por N_F matrices $\underline{\mathbf{H}}(k)$ de respuesta del canal en el dominio de la frecuencia, para $k=1 \dots N_F$, cada una con dimensiones de $N_R \times N_T$.

La matriz de respuesta del canal para cada subbanda se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{H}}(k) = \begin{bmatrix} h_{1,1}(k) & h_{1,2}(k) & \dots & h_{1,N_T}(k) \\ h_{2,1}(k) & h_{2,2}(k) & \dots & h_{2,N_T}(k) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_R,1}(k) & h_{N_R,2}(k) & \dots & h_{N_R,N_T}(k) \end{bmatrix}, \quad \text{Ec. (1)}$$

25 en la que la entrada $h_{i,j}(k)$ para $i = 1 \dots N_R$, $j = 1 \dots N_T$ y $k = 1 \dots N_F$, es el acoplamiento (es decir ganancia compleja) entre la antena transmisora j y la antena receptora i para la subbanda k .

La matriz de respuesta del canal $\underline{\mathbf{H}}(k)$ para cada subbanda se puede “diagonalizar” para obtener N_S modos propios para esa subbanda. Esta diagonalización se puede conseguir realizando o bien una descomposición del valor único de la matriz de respuesta del canal $\underline{\mathbf{H}}(k)$ o descomposición de valor propio de una matriz de correlación de $\underline{\mathbf{H}}(k)$ que es $\underline{\mathbf{R}}(k) = \underline{\mathbf{H}}^H(k) \underline{\mathbf{H}}(k)$, en la que “ H ” indica la transpuesta conjugada.

30 La descomposición de valor único de la matriz $\underline{\mathbf{H}}(k)$ de respuesta del canal para cada subbanda se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{H}}(k) = \underline{\mathbf{U}}(k) \underline{\mathbf{\Sigma}}(k) \underline{\mathbf{V}}^H(k), \quad \text{Ec. (2)}$$

en la que $\underline{\mathbf{U}}(k)$ es una matriz unitaria ($N_R \times N_R$) de vectores propios izquierdos de $\underline{\mathbf{H}}(k)$;

$\underline{\Sigma}(k)$ es una matriz diagonal ($N_R \times N_T$) de valores únicos de $\underline{\mathbf{H}}(k)$; y

$\underline{\mathbf{V}}^H(k)$ es una matriz unitaria ($N_T \times N_T$) de vectores propios derechos de $\underline{\mathbf{H}}(k)$.

Una matriz unitaria $\underline{\mathbf{M}}$ se caracteriza por la propiedad de $\underline{\mathbf{M}}^H \underline{\mathbf{M}} = \underline{\mathbf{I}}$, en la que $\underline{\mathbf{I}}$ es la matriz identidad. Las columnas de una matriz unitaria son ortogonales entre sí.

- 5 La descomposición del valor propio de la matriz de correlación de $\underline{\mathbf{H}}(k)$ para cada subbanda se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{R}}(k) = \underline{\mathbf{H}}^H(k) \underline{\mathbf{H}}(k) = \underline{\mathbf{V}}(k) \underline{\mathbf{\Lambda}}(k) \underline{\mathbf{V}}^H(k), \quad \text{Ec. (3)}$$

en la que $\underline{\mathbf{\Lambda}}(k)$ es una matriz diagonal ($N_T \times N_T$) de valores propios de $\underline{\mathbf{R}}(k)$. Como se muestra en las ecuaciones (2) y (3), las columnas de $\underline{\mathbf{V}}(k)$ son vectores propios de $\underline{\mathbf{R}}(k)$ así como vectores propios derechos de $\underline{\mathbf{H}}(k)$.

- 10 La descomposición de valor singular y la descomposición de valor propio se describen por Gilbert Strang en un libro titulado "Linear Algebra and Its Applications", Segunda Edición, Academic Press, 1980. El modo de multiplexado espacial dirigido de usuario único se puede implementar con o bien la descomposición de valor singular o bien la descomposición de valor propio. Por claridad, se usa la descomposición de valor singular para la descripción a continuación.

- 15 Los vectores propios derechos de $\underline{\mathbf{H}}(k)$ se denominan también como vectores "dirigidos" y se pueden usar para procesamiento espacial por parte de un transmisor para transmitir datos en los N_S modos propios de $\underline{\mathbf{H}}(k)$. Los vectores propios izquierdos de $\underline{\mathbf{H}}(k)$ se pueden usar para procesamiento espacial por un receptor para recuperar los datos transmitidos en los N_S modos propios. Los modos propios se pueden ver como canales espaciales ortogonales obtenidos a través de la descomposición. La matriz diagonal $\underline{\Sigma}(k)$ contiene valores reales no negativos a lo largo de la diagonal y ceros en los demás lugares. Estas entradas diagonales se denominan como los valores singulares de $\underline{\mathbf{H}}(k)$ que representan las ganancias de canal para los N_S modos propios de $\underline{\mathbf{H}}(k)$. Los valores singulares de $\underline{\mathbf{H}}(k)$, $\{\sigma_1(k) \sigma_1(k) \dots \sigma_{N_S}(k)\}$, son también las raíces cuadradas de los valores propios de $\underline{\mathbf{R}}(k)$, $\{\lambda_1(k) \lambda_1(k) \dots \lambda_{N_S}(k)\}$, en las que $\sigma_i(k) = \sqrt{\lambda_i(k)}$. La descomposición de valor singular se puede realizar independientemente de la matriz $\underline{\mathbf{H}}(k)$ de respuesta del canal para cada N_F subbanda para determinar los N_S modos propios para esa subbanda.

- 25 Para cada subbanda, los valores singulares en la matriz $\underline{\Sigma}(k)$ se pueden ordenar desde el mayor al menor, y los vectores propios en las matrices $\underline{\mathbf{V}}(k)$ y $\underline{\mathbf{U}}(k)$ se pueden ordenar en correspondencia. Un modo propio de "banda ancha" se puede definir como el conjunto de los modos propios del mismo orden de todas las N_F subbandas después de la ordenación (es decir, el modo propio de banda ancha m incluye el modo propio m de todas las subbandas). En general, se pueden usar todas o menos de las N_F subbandas para la transmisión, siendo rellenadas las subbandas no utilizadas con valores cero de señal. Por simplicidad, la descripción a continuación supone que todas las N_F subbandas se usan para transmisión.

El modo de multiplexado espacial dirigido de usuario único (o simplemente, el "modo dirigido de usuario único") transmite N_S transmisiones continuas de símbolos de datos en los N_S modos propios del canal MIMO. Esto requiere un procesamiento espacial tanto por el transmisor como por el receptor.

- 35 El procesamiento espacial en el transmisor para cada subbanda para el modo dirigido de usuario único se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{x}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{V}}(k) \underline{\mathbf{s}}(k), \quad \text{Ec. (4)}$$

- 40 en la que $\underline{\mathbf{s}}(k)$ es un vector ($N_T \times 1$) con N_S entradas no cero para N_S símbolos de datos a transmitir en los N_S modos propios para la subbanda k ; y $\underline{\mathbf{x}}_{su-s}(k)$ es un vector ($N_T \times 1$) con N_T entradas para transmitir N_T símbolos a enviar desde las N_T antenas transmisoras para la subbanda k . Las N_S entradas de $\underline{\mathbf{s}}(k)$ pueden representar N_S transmisiones continuas de símbolos de datos y las entradas restantes de $\underline{\mathbf{s}}(k)$, si hay alguna, se rellenan con ceros.

Los símbolos recibidos obtenidos por el receptor para cada subbanda se pueden expresar como:

$$\underline{\mathbf{r}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{x}}_{su-s}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) = \underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{V}}(k) \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k), \quad \text{Ec. (5)}$$

- 45 en la que $\underline{\mathbf{r}}_{su-s}(k)$ es un vector ($N_R \times 1$) con N_R entradas para los N_R símbolos recibidos obtenidos a través de las N_R antenas receptoras para la subbanda k ; y $\underline{\mathbf{n}}(k)$ es un vector del ruido para la subbanda k .

El procesamiento espacial en el receptor para recuperar el vector de datos $\underline{\mathbf{s}}(k)$ para cada subbanda se puede expresar como:

- 50
$$\begin{aligned} \hat{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k) &= \underline{\Sigma}^{-1}(k) \underline{\mathbf{U}}^H(k) \underline{\mathbf{r}}_{su-s}(k), \\ &= \underline{\Sigma}^{-1}(k) \underline{\mathbf{U}}^H(k) (\underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{V}}(k) \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)), \\ &= \underline{\Sigma}^{-1}(k) \underline{\mathbf{U}}^H(k) (\underline{\mathbf{U}}(k) \underline{\Sigma}(k) \underline{\mathbf{V}}^H(k) \underline{\mathbf{V}}(k) \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)), \end{aligned} \quad \text{Ec. (6)}$$

$$= \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) ,$$

o

$$\tilde{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{U}}^H(k) \underline{\mathbf{r}}_{su-s}(k) \quad \text{y} \quad \hat{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k) = \underline{\Sigma}^{-1}(k) \tilde{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k) ,$$

en la que $\tilde{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k)$ es un vector ($N_T \times 1$) con N_S símbolos de datos detectados para la subbanda k ;

- 5 $\underline{\mathbf{s}}_{su-s}(k)$ es un vector ($N_T \times 1$) con N_S símbolos de datos recuperados para la subbanda k ; y
 $\underline{\mathbf{n}}_{su-s}(k)$ es un vector del ruido pos-procesado para la subbanda k .

El vector $\underline{\mathbf{s}}_{su-s}(k)$ es una estimación sin normalizar del vector de datos $\underline{\mathbf{s}}(k)$, y el vector $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k)$ es una estimación normalizada de $\underline{\mathbf{s}}(k)$. La multiplicación por $\underline{\Sigma}^{-1}(k)$ en la ecuación (6) tiene en cuenta las ganancias (posiblemente diferentes) de los N_S canales espaciales y normaliza la salida del procesamiento espacial del receptor de modo que se proporcionan los símbolos de datos recuperados con la magnitud apropiada para una unidad de procesamiento posterior.

Para el modo dirigido de usuario único, la matriz $\underline{\mathbf{F}}_{su-s}(k)$ de vectores dirigidos usada por el transmisor para cada subbanda se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{F}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{V}}(k) . \quad \text{Ec. (7)}$$

- 15 La matriz de filtrado espacial usada por el receptor para cada subbanda se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{M}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{U}}^H(k) . \quad \text{Ec. (8)}$$

El modo dirigido de usuario único puede usarse si el transmisor tiene una información de estado del canal para o bien la matriz $\underline{\mathbf{H}}(k)$ de respuesta del canal o bien la matriz $\underline{\mathbf{V}}(k)$ de vectores propios derechos de $\underline{\mathbf{H}}(k)$, para $k = 1 \dots N_F$. El transmisor puede estimar $\underline{\mathbf{H}}(k)$ o $\underline{\mathbf{V}}(k)$ para cada subbanda en base a un piloto transmitido por el receptor, como se describe a continuación, o se puede proporcionar esta información por parte del receptor a través de un canal de realimentación. El receptor puede obtener típicamente $\underline{\mathbf{H}}(k)$ o $\underline{\mathbf{U}}^H(k)$ para cada subbanda en base a un piloto transmitido por el transmisor. La ecuación (6) indica que las N_S transmisiones continuas $\underline{\mathbf{s}}(k)$ de símbolos de datos, distorsionadas solamente por el ruido $\underline{\mathbf{n}}_{su-s}(k)$ del canal pos-procesado, se pueden obtener para el modo dirigido de usuario único con el procesamiento espacial apropiado tanto en el transmisor como en el receptor.

- 25 La relación señal a ruido e interferencia (SNR) para el modo dirigido de usuario único se puede expresar como:

$$\gamma_{su-s,m}(k) = \frac{P_m(k)\lambda_m(k)}{\sigma^2} , \quad m = 1 \dots N_s , \quad \text{Ec. (9)}$$

en la que $P_m(k)$ es la potencia de transmisión usada por los símbolos de datos transmitidos en la subbanda k del modo m propio de banda ancha;

- 30 $\lambda_m(k)$ es el valor propio para la subbanda k del modo propio m de banda ancha, que es el m -ésimo elemento diagonal de $\underline{\Delta}(k)$; y

$\gamma_{su-s,m}(k)$ es la SNR para la subbanda k del modo propio m de banda ancha.

2. Modo de multiplexado espacial No dirigido de Usuario único

El modo de multiplexado espacial no dirigido de usuario único (o simplemente, el "modo no dirigido de usuario único") se puede usar si el transmisor no tiene suficiente información de estado del canal o si no puede soportarse el modo dirigido de usuario único por cualquier razón. El modo no dirigido de usuario único transmite N_S transmisiones continuas de símbolos desde N_T antenas transmisoras sin ningún procesamiento espacial en el transmisor.

Para el modo no dirigido de usuario único, la matriz $\underline{\mathbf{F}}_{ns}(k)$ de vectores dirigidos usada por el transmisor para cada subbanda se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{F}}_{ns}(k) = \underline{\mathbf{I}} . \quad \text{Ec. (10)}$$

- 40 el procesamiento espacial en el transmisor para cada subbanda se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{x}}_{ns}(k) = \underline{\mathbf{s}}(k) , \quad \text{Ec. (11)}$$

en la que $\underline{\mathbf{x}}_{ns}(k)$ es el vector del símbolo de transmisión para el modo no dirigido de usuario único. Un canal espacial de "banda ancha" para este modo se puede definir como el canal espacial que corresponde a una antena de transmisión dada (es decir, el canal espacial m de banda ancha para el modo no dirigido de usuario único incluye todas las subbandas de la antena m de transmisión).

Los símbolos recibidos obtenidos por el receptor para cada subbanda se pueden expresar como:

$$\mathbf{r}_{ns}(k) = \mathbf{H}(k) \mathbf{x}_{ns}(k) + \mathbf{n}(k) = \mathbf{H}(k) \mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k) , \quad \text{Ec. (12)}$$

El receptor puede recuperar el vector de datos $\mathbf{s}(k)$ usando varias técnicas de procesamiento en el receptor tal como la técnica de inversión de matriz de correlación del canal (CCMI) (que se denomina también comúnmente como la técnica de forzado a cero), una técnica de error cuadrático medio mínimo (MMSE), un equalizador con realimentación de decisión (DFE), una técnica de cancelación sucesiva de interferencias (SIC), y otras similares.

A. Procesamiento espacial CCMI

El receptor puede usar la técnica CCMI para separar las transmisiones continuas de símbolos de datos. Un receptor CCMI utiliza un filtro espacial que tenga una respuesta de $\mathbf{M}_{ccmi}(k)$, para $k = 1 \dots N_F$, que se puede expresar como:

$$\mathbf{M}_{ccmi}(k) = [\mathbf{H}^H(k) \mathbf{H}(k)]^{-1} \mathbf{H}^H(k) = \mathbf{R}^{-1}(k) \mathbf{H}^H(k) . \quad \text{Ec. (13)}$$

El procesamiento espacial por el receptor CCMI para el modo no dirigido de usuario único se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{s}}_{ccmi}(k) &= \mathbf{M}_{ccmi}(k) \mathbf{r}_{ns}(k) , \\ &= \mathbf{R}^{-1}(k) \mathbf{H}^H(k) (\mathbf{H}(k) \mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k)) , \\ &= \mathbf{s}(k) + \mathbf{n}_{ccmi}(k) , \end{aligned} \quad \text{Ec. (14)}$$

en la que $\hat{\mathbf{s}}_{ccmi}(k)$ es un vector ($N_T \times 1$) con N_S símbolos de datos recuperados para la subbanda k ; y $\mathbf{n}_{ccmi}(k) = \mathbf{M}_{ccmi}(k) \mathbf{n}(k)$ es el ruido CCMI filtrado para la subbanda k .

Una matriz $\mathbf{\Phi}_{ccmi}(k)$ de autocovarianza del ruido CCMI filtrado para cada subbanda se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \mathbf{\Phi}_{ccmi}(k) &= E[\mathbf{n}_{ccmi}(k) \mathbf{n}_{ccmi}^H(k)] , \\ &= \mathbf{M}_{ccmi}(k) \mathbf{\Phi}_{nn}(k) \mathbf{M}_{ccmi}^H(k) , \\ &= \sigma^2 \mathbf{R}^{-1}(k) , \end{aligned} \quad \text{Ec. (15)}$$

en la que $E[x]$ es el valor esperado para x . La última igualdad en la ecuación (15) supone que el ruido $\mathbf{n}(k)$ es un ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN) con una media de cero, una varianza de σ^2 , y una matriz de autocovarianza de $\mathbf{\Phi}_{nn}(k) = E[\mathbf{n}(k) \mathbf{n}^H(k)] = \sigma^2 \mathbf{I}$. En este caso, la SNR para el receptor CCMI se puede expresar como:

$$\gamma_{ccmi,m}(k) = \frac{P_m(k)}{r_{mm}(k) \sigma^2} , \quad m = 1 \dots N_s , \quad \text{Ec. (16)}$$

en la que $P_m(k)$ es la potencia de transmisión usada por los símbolos de datos transmitidos en la subbanda k del canal m espacial de banda ancha;

$r_{mm}(k)$ es el m -ésimo elemento diagonal de $\mathbf{R}(k)$ para la subbanda k ; y

$\gamma_{ccmi,m}(k)$ es la SNR para la subbanda k del canal m espacial de banda ancha.

Debido a la estructura de $\mathbf{R}(k)$, la técnica CCMI puede amplificar el ruido.

B. Procesamiento espacial MMSE

El receptor puede usar la técnica MMSE para suprimir la interferencia cruzada entre las transmisiones continuas de símbolos de datos y maximizar las SNR de las transmisiones continuas de símbolos de datos recuperados. Un receptor MMSE utiliza un filtro espacial que tenga una respuesta de $\mathbf{M}_{mmse}(k)$, para $k = 1 \dots N_F$, que se deduce de modo que el error cuadrático medio entre el vector de datos estimado a partir del filtro espacial y el vector de datos $\mathbf{s}(k)$ se minimice. Este criterio MMSE se puede expresar como:

$$\min_{(\mathbf{M}_{mmse}(k))} E[\mathbf{M}_{mmse}(k) \mathbf{r}_{ns}(k) - \mathbf{s}(k)]^H (\mathbf{M}_{mmse}(k) \mathbf{r}_{ns}(k) - \mathbf{s}(k))] . \quad \text{Ec. (17)}$$

La solución para el problema de optimización planteado en la ecuación (17) se puede obtener de varias maneras. En un procedimiento ejemplar, la matriz $\mathbf{M}_{mmse}(k)$ de filtrado espacial MMSE para cada subbanda se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_{mmse}(k) &= \mathbf{H}^H(k) [\mathbf{H}(k) \mathbf{H}^H(k) + \mathbf{\Phi}_{nn}(k)]^{-1} , \\ &= \mathbf{H}^H(k) [\mathbf{H}(k) \mathbf{H}^H(k) + \sigma^2 \mathbf{I}]^{-1} . \end{aligned} \quad \text{Ec. (18)}$$

La segunda igualdad en la ecuación (18) supone que el vector de ruido $\mathbf{n}(k)$ es un AWGN con una media de cero y una varianza de σ^2 .

El procesamiento espacial en el receptor MMSE para el modo no dirigido de usuario único se compone de dos etapas. En la primera etapa, el receptor MMSE multiplica el vector $\mathbf{r}_{ns}(k)$ para las N_R transmisiones continuas de símbolos recibidos con la matriz $\mathbf{M}_{mmse}(k)$ de filtro espacial MMSE para obtener un vector $\mathbf{s}_{mmse}(k)$ para las N_S transmisiones continuas de símbolos detectados, como sigue:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{s}}_{mmse}(k) &= \mathbf{M}_{mmse}(k) \mathbf{r}_{ns}(k), \\ &= \mathbf{M}_{mmse}(k) (\mathbf{H}(k) \mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k)), \\ &= \mathbf{Q}(k) \mathbf{s}(k) + \mathbf{n}_{mmse}(k), \end{aligned} \quad \text{Ec. (19)}$$

en la que $\mathbf{n}_{mmse}(k) = \mathbf{M}_{mmse}(k) \mathbf{n}(k)$ es el ruido MMSE filtrado y $\mathbf{Q}(k) = \mathbf{M}_{mmse}(k) \mathbf{H}(k)$. Las N_S transmisiones continuas de símbolos detectados son estimaciones no normalizadas de las N_S transmisiones continuas de símbolos de datos.

En la segunda etapa, el receptor MMSE multiplica el vector $\mathbf{s}_{mmse}(k)$ con una matriz de escalado $\mathbf{D}^{-1}_{mmse}(k)$ para obtener un vector $\hat{\mathbf{s}}_{mmse}(k)$ para las N_S transmisiones continuas de símbolos de datos, como sigue:

$$\hat{\mathbf{s}}_{mmse}(k) = \mathbf{D}^{-1}_{mmse}(k) \tilde{\mathbf{s}}_{mmse}(k), \quad \text{Ec. (20)}$$

en la que $\mathbf{D}_{mmse}(k)$ es una matriz diagonal cuyos elementos son los elementos diagonales de $\mathbf{Q}(k)$, es decir $\mathbf{D}_{mmse}(k) = \text{diag}[\mathbf{Q}(k)]$. Las N_S transmisiones continuas de símbolos de datos recuperados son estimaciones normalizadas de las N_S transmisiones continuas de símbolos de datos.

Usando la identidad inversa de matriz, la matriz $\mathbf{Q}(k)$ se puede reescribir como:

$$\begin{aligned} \mathbf{Q}(k) &= \mathbf{H}^H(k) \mathbf{\Phi}^{-1}_{nn}(k) \mathbf{H}(k) [\mathbf{H}^H(k) \mathbf{\Phi}^{-1}_{nn}(k) \mathbf{H}(k) + \mathbf{I}]^{-1}, \\ &= \mathbf{H}^H(k) \mathbf{H}(k) [\mathbf{H}^H(k) \mathbf{H}(k) + \sigma^2 \mathbf{I}]^{-1}. \end{aligned} \quad \text{Ec. (21)}$$

La segunda igualdad en la ecuación (21) supone que el ruido es un AWGN con una media de cero y una varianza de σ^2 .

La SNR para el receptor MMSE se puede expresar como:

$$\gamma_{mmse,m}(k) = \frac{q_{mm}(k)}{1 - q_{mm}(k)} P_m(k), \quad m = 1 \dots N_S, \quad \text{Ec. (22)}$$

en la que $q_{mm}(k)$ es el m-ésimo elemento diagonal de $\mathbf{Q}(k)$ para la subbanda k ; y $\gamma_{mmse,m}(k)$ es la SNR para la subbanda k del canal m espacial de banda ancha.

25 C. Procesamiento en el receptor de cancelación sucesiva de interferencias

El receptor puede procesar las N_R transmisiones continuas de símbolos recibidos usando la técnica SIC para recuperar las N_S transmisiones continuas de símbolos de datos. Para la técnica SIC, el receptor realiza inicialmente un procesamiento espacial de las N_R transmisiones continuas de símbolos recibidas (por ejemplo, usando CCML, MMSE o alguna otra técnica) y obtiene una transmisión continua de símbolos de datos recuperados. El receptor procesa adicionalmente (por ejemplo, demodula, desintercala y decodifica) esta transmisión continua de símbolos de datos recuperada para obtener una transmisión continua de datos decodificada. El receptor estima a continuación la interferencia que produce esta transmisión continua a las otras N_S-1 transmisiones continuas de símbolos de datos y cancela la interferencia estimada a partir de las N_R transmisiones continuas de símbolos recibidos para obtener N_R transmisiones continuas de símbolos modificados. El receptor repite entonces el mismo procesamiento sobre las N_R transmisiones continuas de símbolos modificados para recuperar otra transmisión continua de símbolos de datos.

Para un receptor SIC, las transmisiones continuas de símbolos de entrada (es decir, recibidos o modificados) para la etapa ℓ , en la que $\ell = 1 \dots N_S$, se puede expresar como:

$$\mathbf{r}_{sic}^\ell(k) = \mathbf{H}^\ell(k) \mathbf{x}_{ns}^\ell(k) + \mathbf{n}(k) = \mathbf{H}^\ell(k) \mathbf{s}^\ell(k) + \mathbf{n}(k), \quad \text{Ec. (23)}$$

en la que $\mathbf{r}_{sic}^\ell(k)$ es un vector de N_R símbolos modificados para la subbanda k en la etapa ℓ , y $\mathbf{r}_{sic}^1(k) = \mathbf{r}_{ns}(k)$ para la primera etapa;

$\mathbf{s}^\ell(k)$ es un vector de $(N_T - \ell + 1)$ símbolos de datos no recuperado aún para la subbanda k en la etapa ℓ ; y

$\mathbf{H}^\ell(k)$ es una matriz de respuesta de canal reducida de $N_R \times (N_T - \ell + 1)$ para la subbanda k en la etapa ℓ .

La ecuación (23) supone que las transmisiones continuas de símbolos de datos recuperadas en las $(\ell - 1)$ etapas previas se cancelan. La dimensionalidad de la matriz $\mathbf{H}^\ell(k)$ de respuesta del canal se reduce sucesivamente en una columna por cada etapa cuando la transmisión continua de símbolos de datos se recupera y cancela. Para la etapa

ℓ , la matriz $\mathbf{H}^\ell(k)$ de respuesta del canal reducida se obtiene eliminando las $(\ell - 1)$ columnas en la matriz $\mathbf{H}(k)$ de respuesta del canal original correspondientes a las $(\ell - 1)$ transmisiones continuas de símbolos de datos previamente recuperadas, es decir, $\mathbf{H}^\ell(k) = [\mathbf{h}_{j_1}(k) \mathbf{h}_{j_2}(k) \dots \mathbf{h}_{j_{\ell-1}}(k)]$, en la que $\mathbf{h}_{j_\ell}(k)$ es un vector $N_R \times 1$ para la respuesta del canal entre la antena j_ℓ de transmisión y las N_R antenas receptoras. Para la etapa ℓ , a las $(\ell - 1)$ transmisiones continuas de símbolos de datos recuperadas en las etapas previas se les da índices de $\{j_1 j_2 \dots j_{\ell-1}\}$, y a las $(N_T - \ell + 1)$ transmisiones continuas de símbolos de datos no recuperadas aún se les da índices de $\{j_\ell j_{\ell+1} \dots j_{N_T}\}$.

Para la etapa ℓ , el receptor SIC deduce una matriz $\mathbf{M}_{sic}^\ell(k)$, para $k = 1 \dots N_F$, en base a la matriz $\mathbf{H}^\ell(k)$ de respuesta del canal reducida (en lugar de la matriz $\mathbf{H}(k)$ original) usando la técnica CCMI como se muestra en la ecuación (13), la técnica MMSE como se muestra en la ecuación (18) o alguna otra técnica. La matriz $\mathbf{M}_{sic}^\ell(k)$ tiene una dimensionalidad de $(N_T - \ell + 1) \times N_R$. Dado que $\mathbf{H}^\ell(k)$ es diferente para cada etapa, la matriz $\mathbf{M}_{sic}^\ell(k)$ de filtro espacial es también diferente para cada etapa.

El receptor SIC multiplica el vector $\mathbf{r}_{sic}^\ell(k)$ para las N_R transmisiones continuas de símbolos modificados con la matriz $\mathbf{M}_{sic}^\ell(k)$ de filtro espacial para obtener un vector $\tilde{\mathbf{s}}_{sic}^\ell(k)$ para las $(N_T - \ell + 1)$ transmisiones continuas de símbolos detectados, como sigue:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{s}}_{sic}^\ell(k) &= \mathbf{M}_{sic}^\ell(k) \mathbf{r}_{sic}^\ell(k), \\ &= \mathbf{M}_{sic}^\ell(k) (\mathbf{H}_{sic}^\ell(k) \mathbf{s}^\ell(k) + \mathbf{n}^\ell(k)), \\ &= \mathbf{Q}_{sic}^\ell(k) \mathbf{s}^\ell(k) + \mathbf{n}_{sic}^\ell(k), \end{aligned} \quad \text{Ec. (24)}$$

en la que $\mathbf{n}_{sic}^\ell(k)$ es el ruido filtrado para la subbanda k de la etapa ℓ , $\mathbf{n}_{sic}^\ell(k)$ es un vector reducido de $\mathbf{n}(k)$, y $\mathbf{Q}_{sic}^\ell(k) = \mathbf{M}_{sic}^\ell(k) \mathbf{H}_{sic}^\ell(k)$. El receptor SIC selecciona continuación una de las transmisiones continuas de símbolos detectados para recuperación. Dado que sólo se recupera una transmisión continua de símbolos de datos en cada etapa, el receptor SIC simplemente puede deducir un vector $\mathbf{m}_{j_\ell}^\ell(k)$ para la transmisión continua $\{s_{j_\ell}\}$ de símbolos de datos a recuperar en la etapa ℓ . El vector de fila $\mathbf{m}_{j_\ell}^\ell(k)$ es una fila de la matriz $\mathbf{M}_{sic}^\ell(k)$. En este caso, el procesamiento espacial para la etapa ℓ para recuperar la transmisión continua $\{s_{j_\ell}\}$ de símbolos de datos se puede expresar como:

$$\tilde{\mathbf{s}}_{j_\ell}^\ell(k) = \mathbf{m}_{j_\ell}^\ell(k) \mathbf{r}_{sic}^\ell(k) = \mathbf{q}_{j_\ell}^\ell(k) \mathbf{s}^\ell(k) + \mathbf{m}_{j_\ell}^\ell(k) \mathbf{n}(k), \quad \text{Ec. (25)}$$

en la que $\mathbf{q}_{j_\ell}^\ell(k)$ es la fila de $\mathbf{Q}_{sic}^\ell(k)$ correspondiente a la transmisión continua $\{s_{j_\ell}\}$ de símbolos de datos.

En cualquier caso, el receptor escala la transmisión continua $\{\tilde{\mathbf{s}}_{j_\ell}\}$ de símbolos de datos para obtener una transmisión continua $\{\tilde{\mathbf{s}}_{j_\ell}\}$ de símbolos de datos recuperados y procesa adicionalmente (por ejemplo, demodula, desintercala y decodifica) la transmisión continua $\{\tilde{\mathbf{s}}_{j_\ell}\}$ para obtener una transmisión continua $\{\hat{\mathbf{d}}_{j_\ell}\}$ de datos decodificados. El receptor también forma una estimación de la interferencia que esta transmisión continua produce a las otras transmisiones continuas de símbolos de datos no recuperados aún. Para estimar la interferencia, el receptor recodifica, intercala y mapea los símbolos de la transmisión continua $\{\hat{\mathbf{d}}_{j_\ell}\}$ de datos decodificados en la misma forma que lo realiza el transmisor y obtiene una transmisión continua $\{\tilde{\mathbf{s}}_{j_\ell}\}$ de símbolos "remodulados", que es una estimación de la transmisión continua de símbolos de datos recién recuperados. El receptor convolucionaria entonces la transmisión continua de símbolos remodulados con cada uno de los N_R elementos en el vector $\mathbf{h}_{j_\ell}(k)$ para la transmisión continua $\{\tilde{\mathbf{s}}_{j_\ell}\}$ para obtener N_R componentes $\mathbf{i}_{j_\ell}(k)$ de interferencia producidos por esta transmisión continua. Los N_R componentes de interferencia se restan entonces de las N_R transmisiones continuas de símbolos modificados $\mathbf{r}_{sic}^\ell(k)$ para la etapa ℓ para obtener N_R transmisiones continuas de símbolos modificados $\mathbf{r}_{sic}^{\ell+1}(k)$ para la siguiente etapa $\ell+1$, es decir $\mathbf{r}_{sic}^{\ell+1}(k) = \mathbf{r}_{sic}^\ell(k) - \mathbf{i}_{j_\ell}(k)$. Las transmisiones continuas de símbolos modificados $\mathbf{r}_{sic}^{\ell+1}(k)$ representan las transmisiones continuas que se habrían recibido si la transmisión continua $\{s_{j_\ell}\}$ de símbolos de datos no se hubiese transmitido (es decir, suponiendo que la cancelación de interferencia se hubiese realizado efectivamente).

El receptor SIC procesa las N_R transmisiones continuas de símbolos recibidos en N_S etapas sucesivas. Para cada etapa, el receptor SIC (1) realiza un procesamiento espacial bien sobre las N_R transmisiones continuas de símbolos

5 recibidas o bien las N_R transmisiones continuas de símbolos modificadas a partir de la etapa precedente para obtener una transmisión continua de símbolos de datos recuperada, (2) decodifica esta transmisión continua de símbolos de datos recuperados para obtener una transmisión continua de datos decodificados correspondiente, (3) estima y cancela la interferencia debido a esta transmisión continua y (4) obtiene las N_R transmisiones continuas de símbolos modificados para la siguiente etapa. Si la interferencia debido a cada transmisión continua de datos se puede estimar y cancelar con precisión, entonces las últimas transmisiones continuas de datos recuperados experimentan menos interferencias y pueden ser capaces de conseguir unas SNR más altas.

10 Para la técnica SIC, la SNR para cada transmisión continua de símbolos de datos recuperados depende de (1) la técnica de procesamiento espacial (por ejemplo, CCMI o MMSE) usada para cada etapa, (2) la etapa específica en la que se recupera la transmisión continua de símbolos de datos y (3) la cantidad de interferencia debida a las transmisiones de símbolos de datos recuperados en las últimas etapas. La SNR para el receptor SIC con CCMI se puede expresar como:

$$\gamma_{sic-ccmi,m}(k) = \frac{P_m(k)}{r_{mm}^\ell(k)\sigma^2}, \quad m = 1 \dots N_s, \quad \text{Ec. (26)}$$

en la que $r_{mm}^\ell(k)$ es el m -ésimo elemento diagonal de $[\mathbf{R}^\ell(k)]^{-1}$ para la subbanda k , en la que $\mathbf{R}^\ell(k) = [\mathbf{H}^\ell(k)]^H \mathbf{H}^\ell(k)$.

15 La SNR para el receptor SIC con MMSE se puede expresar como:

$$\gamma_{sic-mmse,m}(k) = \frac{q_{mm}^\ell(k)}{1 - q_{mm}^\ell(k)} P_m(k), \quad m = 1 \dots N_s, \quad \text{Ec. (27)}$$

en la que $q_{mm}^\ell(k)$ es el m -ésimo elemento diagonal de $\mathbf{Q}_{sic}^\ell(k)$ para la subbanda k , en la que $\mathbf{Q}_{sic}^\ell(k)$ se deduce como se muestra en la ecuación (21) pero en base a la matriz $\mathbf{H}^\ell(k)$ de respuesta del canal reducida en lugar de la matriz $\mathbf{H}(k)$ original.

20 En general, la SNR mejora progresivamente para las transmisiones continuas de símbolos de datos recuperados en las etapas posteriores debido a que se cancela la interferencia de las transmisiones continuas de símbolos de datos recuperados en etapas previas. Esto permite que se usen a continuación velocidades más altas para las transmisiones continuas de símbolos de datos recuperados posteriormente.

3. Modo de multiplexado espacial Dirigido de Múltiples usuarios

25 El modo de multiplexado espacial dirigido de múltiples usuarios (o simplemente, el “modo dirigido de múltiples usuarios”) soporta transmisión de datos desde un único transmisor a múltiples receptores simultáneamente en base a las “firmas espaciales” de los receptores. La firma espacial de un receptor se da mediante un vector de canal de respuesta del canal (para cada subbanda) entre las N_T antenas transmisoras y cada antena receptora en el receptor. El transmisor puede obtener las firmas espaciales para los receptores como se describe a continuación. El
30 transmisor entonces puede (1) seleccionar un conjunto de receptores para transmisión simultánea de datos y (2) deducir los vectores de dirección para las transmisiones continuas de símbolos de datos a transmitir a los receptores seleccionados de modo que la interferencia cruzada de la transmisión continua se suprima adecuadamente en los receptores.

35 Los vectores de dirección para el modo dirigido de múltiples usuarios se pueden deducir de varias maneras. Se describen a continuación los esquemas de ejemplo. Por simplicidad, la descripción a continuación es para una subbanda y supone que cada receptor está equipado con una antena.

40 En un esquema de inversión de canal, el transmisor obtiene los vectores de dirección para múltiples receptores usando inversión de canal. El transmisor selecciona inicialmente N_T receptores de antena única para la transmisión simultánea. El transmisor obtiene un vector $\mathbf{h}_\ell(k)$ fila de respuesta de canal de $1 \times N_T$ para cada receptor seleccionado y forma una matriz $\mathbf{H}_{mu-s}(k)$ de $N_T \times N_T$ con los N_T vectores fila para los N_T receptores. El transmisor usa entonces la inversión de canal para obtener una matriz $\mathbf{E}_{mu-s}(k)$ de N_T vectores de dirección para los N_T receptores seleccionados, como sigue:

$$\mathbf{E}_{mu-s}(k) = \mathbf{H}_{mu-s}^{-1}(k). \quad \text{Ec. (28)}$$

45 El procesamiento espacial en el transmisor para cada subbanda para el modo dirigido de múltiples usuarios se puede expresar como:

$$\mathbf{x}_{mu-s}(k) = \mathbf{E}_{mu-s}(k) \mathbf{s}(k). \quad \text{Ec. (29)}$$

en la que $\mathbf{x}_{mu-s}(k)$ es el vector del símbolo de transmisión para el modo dirigido de múltiples usuarios.

Los símbolos recibidos en los N_T receptores seleccionados para cada subbanda se pueden expresar como:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{r}_{mu-s}(k) &= \mathbf{H}_{mu-s}(k) \mathbf{x}_{mu-s}(k) + \mathbf{n}(k) , \\
 &= \mathbf{H}_{mu-s}(k) \mathbf{F}_{mu-s}(k) \mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k) , \\
 &= \mathbf{s}(k) + \mathbf{i}(k) + \mathbf{n}(k) ,
 \end{aligned}
 \tag{Ec. (30)}$$

5 en la que $\mathbf{r}_{mu-s}(k)$ es un vector ($N_T \times 1$) de símbolos recibidos para la subbanda k en los N_T receptores seleccionados, e $\mathbf{i}(k)$ representa la interferencia cruzada debido a la estimación imperfecta de $\mathbf{F}_{mu-s}(k)$ en el transmisor. Cada receptor seleccionado obtendría solamente una entrada del vector $\mathbf{r}_{mu-s}(k)$ para cada antena receptora. Si el procesamiento espacial en el transmisor es efectivo, entonces la potencia en $\mathbf{i}(k)$ es pequeña y cada transmisión continua de símbolos de datos recuperada experimenta poca interferencia cruzada desde las otras ($N_T - 1$) transmisiones continuas de símbolos de datos enviadas a los otros receptores.

10 El transmisor puede transmitir también un piloto dirigido a cada receptor seleccionado, como se describe a continuación. Cada receptor, procesaría entonces su piloto dirigido para estimar la ganancia de canal y fase y demodular coherentemente los símbolos recibidos desde su única antena con las estimaciones de ganancia de canal y fase para obtener símbolos de datos recuperados.

15 Las SNR conseguidas para el modo dirigido de múltiples usuarios son función de la autocovarianza de la matriz $\mathbf{H}_{mu-s}(k)$ de respuesta del canal. Se pueden conseguir unas SNR más altas seleccionando terminales de usuario "compatibles". Se pueden evaluar diferentes conjuntos y/o combinaciones de terminales de usuarios, y se puede seleccionar para transmisión de datos el conjunto/combinación con las SNR más altas.

20 Aunque el esquema de inversión de canal es atractivo en su simplicidad, proporcionará, en general, un pobre rendimiento, porque el precondicionado de las transmisiones continuas de símbolos de datos con la matriz de respuesta del canal inversa en la ecuación (29) fuerza al transmisor a poner la mayor parte de su potencia en los peores modos propios del canal MIMO. También, en algunos canales, particularmente aquéllos con grandes correlaciones entre los elementos de $\mathbf{H}_{mu-s}(k)$, la matriz de respuesta del canal es menor de un rango completo, y el cálculo de una inversa no será posible.

25 En un esquema de precodificación, el transmisor precede las N_T transmisiones continuas de símbolos de datos a enviar a los N_T receptores seleccionados de modo que estas transmisiones continuas de símbolos de datos experimenten poca interferencia cruzada en los receptores. El transmisor puede formar la matriz $\mathbf{H}_{mu}(k)$ de respuesta del canal para los N_T receptores seleccionados. El transmisor realiza entonces una factorización QR sobre $\mathbf{H}_{mu}(k)$ de modo que $\mathbf{H}_{mu}(k) = \mathbf{F}_{tr}(k) \mathbf{Q}_{mu}(k)$, en la que $\mathbf{F}_{tr}(k)$ es una matriz triangular izquierda inferior y $\mathbf{Q}_{mu}(k)$ es una matriz unitaria.

30 El transmisor realiza una operación de precodificación sobre el vector de símbolos de datos a transmitir, $\mathbf{s}(k) = [s_1(k) s_2(k) \dots s_{N_T}(k)]^T$, para obtener un vector de símbolos precodificados $\mathbf{a}(k) = [a_1(k) a_2(k) \dots a_{N_T}(k)]^T$, como sigue:

$$a_\ell(k) = \frac{1}{f_{\ell\ell}} \left(s_\ell(k) - \sum_{i=1}^{\ell-1} f_{i\ell}(k) a_i(k) \right) \text{mod}(M/2) , \text{ para } \ell = 1 \dots N_T ,
 \tag{Ec. (31)}$$

35 en la que M es el número de niveles, separado en intervalos unitarios, en la fase interior o dimensión de cuadratura de una constelación de señales QAM; y $f_{i\ell}(k)$ es el elemento de $\mathbf{F}_{tr}(k)$ en la fila i y columna j .

La operación módulo (mod) añade un número suficiente de múltiplos enteros de M al argumento de modo que el resultado satisface $a_\ell(k) \in [-M/2, M/2]$. Después de esta operación de precodificación, los símbolos transmitidos se calculan mediante el procesamiento del vector $\mathbf{a}(k)$ de símbolo decodificado con la matriz dirigida unitaria $\mathbf{Q}_{mu}(k)$ para generar el vector $\mathbf{x}_{mu-pc}(k) = \mathbf{Q}_{mu}(k) \mathbf{a}(k)$.

40 El vector de símbolos recibidos por el esquema de precodificación se puede expresar como:

$$\mathbf{r}_{mu-pc}(k) = \mathbf{H}_{mu}(k) \mathbf{Q}_{mu}(k) \mathbf{a}(k) + \mathbf{n}(k) = \mathbf{F}_{tr}(k) \mathbf{a}(k) + \mathbf{n}(k) .
 \tag{Ec. (32)}$$

45 se puede demostrar que $\mathbf{F}_{tr}(k) \mathbf{a}(k) \text{mod}(M/2) = \mathbf{s}(k)$. De ese modo, el vector de símbolos de datos se puede estimar como $\hat{\mathbf{s}}_{mu-pc}(k) = \mathbf{r}_{mu-pc}(k) \text{mod}(M/2)$. Cada uno de los N_T receptores seleccionados sólo tiene uno de los N_T elementos $\mathbf{r}_{mu-pc}(k)$ y puede estimar los símbolos de datos enviados a él mediante la realización de la operación $\text{mod}(M/2)$ sobre sus símbolos recibidos.

El transmisor puede transmitir también múltiples transmisiones continuas de símbolos de datos a un receptor de antena múltiple en el modo dirigido de múltiples usuarios. La matriz $\mathbf{H}_{mu}(k)$ de respuesta del canal incluiría entonces un vector fila para cada antena receptora del receptor de antena múltiple.

50 El modo dirigido de múltiples usuarios también soporta transmisión de datos desde múltiples transmisores de múltiples antenas a un único receptor. Cada transmisor de antena múltiple realiza un procesamiento espacial sobre

su transmisión continua de símbolos de datos para dirigir la transmisión continua hacia el receptor. Cada transmisor también transmite un piloto dirigido al receptor. En el receptor, cada transmisor aparece como una única transmisión. El receptor realiza un procesamiento espacial (por ejemplo, CCMI, MMSE y otros similares) para recuperar las transmisiones continuas de símbolos de datos dirigidas desde todos los transmisores.

5 **4. Modo de multiplexado espacial no dirigido de múltiples usuarios**

El modo de multiplexado espacial no dirigido de múltiples usuarios (o simplemente, el “modo no dirigido de múltiples usuarios”) soporta transmisión de datos simultánea por (1) un único transmisor a múltiple receptores (por ejemplo, para el enlace descendente) y (2) múltiples transmisores a un único receptor (por ejemplo, para el enlace descendente).

10 Para la transmisión no dirigida desde un único transmisor a múltiples receptores, el transmisor transmite la transmisión continua de símbolos de datos desde cada antena transmisora para un receptor destinatario. Se pueden transmitir una o múltiples transmisiones continuas de símbolos de datos para cada receptor destinatario. Cada receptor destinatario incluye al menos N_T antenas receptoras y puede realizar procesamiento espacial para aislar y recuperar sus transmisiones continuas de símbolos de datos. Cada receptor que desee la transmisión de datos
 15 estimará la SNR para cada una de las N_T antenas transmisoras y envía las N_T estimaciones de SNR al transmisor. El transmisor selecciona un conjunto de receptores para la transmisión de datos en base a las estimaciones de SNR desde todos los receptores que deseen transmisión de datos (por ejemplo para maximizar el rendimiento global).

Para transmisión no dirigida desde múltiples transmisores a un único receptor, los transmisores transmiten transmisiones continuas de símbolos de datos desde sus antenas (es decir, sin procesamiento espacial) de modo
 20 que estas transmisiones continuas lleguen aproximadamente alineadas en el tiempo al receptor. El receptor puede estimar la matriz de respuesta del canal para todos los transmisores como si fuesen un transmisor. El receptor puede recuperar múltiples transmisiones continuas de símbolos de datos transmitidas por estos múltiples transmisores usando cualquiera de las técnicas descritas anteriormente para el modo no dirigido de usuario único (por ejemplo, las técnicas CCMI, MMSE y SIC).

25 **5. Procesamiento espacial**

La Tabla 2 resume el procesamiento espacial en el transmisor y al receptor para los cuatro modos de multiplexado espacial descritos anteriormente. Para los modos no dirigidos, se pueden utilizar también técnicas de procesamiento en el receptor distintas de CCMI y MMSE. La última columna en la Tabla 2 indica si se puede usar o no la técnica SIC en el receptor.

30 Tabla 2

Modo de Multiplexado Espacial	Transmisor $F(k)$	Receptor $M(k)$	Escalado	SIC
Dirigido de Usuario único	$\underline{V}(k)$	$\underline{U}^H(k)$	$\underline{\Sigma}^{-1}(k)$	no
No dirigido de Usuario único	\mathbf{I}	$\underline{M}_{ccmi}(k)$ $\underline{M}_{mmse}(k)$	- $\underline{D}^{-1}_{mmse}(k)$	sí
Dirigido de Múltiples usuarios (transmisor único a múltiples receptores)	$\underline{H}^{-1}_{mm-s}(k)$	-	-	no
No dirigido de Múltiples usuarios (múltiples transmisores a un único receptor)	\mathbf{I}	$\underline{M}_{ccmi}(k)$	- $\underline{D}^{-1}_{mmse}(k)$	sí

Por simplicidad, el procesamiento espacial para el modo dirigido de múltiples usuarios desde múltiples transmisores a un único receptor y el modo no dirigido de múltiples usuarios desde un único transmisor a múltiples receptores no se muestran en la Tabla 2.

35 En la descripción a continuación, un canal espacial de banda ancha puede corresponder a (1) un modo propio de banda ancha, para un modo de multiplexado espacial dirigido, (2) una antena de transmisión, para un modo de multiplexado espacial no dirigido o (3) una combinación de uno o más canales espaciales de una o más subbandas. Un canal espacial de banda ancha se puede usar para transmitir una transmisión continua de datos independientes.

6. Sistema MIMO

40 La FIG. 1 muestra un sistema MIMO 100 de acceso múltiple con un número de puntos 110 de acceso (AP) que proporciona comunicación para un cierto número de terminales 120 de usuario (UT). Por simplicidad, sólo se muestran dos puntos 110a y 110b de acceso en la FIG. 1. Un punto de acceso es generalmente una estación fija que comunica con los terminales de usuario y puede también denominarse como una estación base o alguna otra terminología. Un terminal de usuario puede ser fijo o móvil y puede también denominarse como una estación móvil,

un dispositivo inalámbrico, o alguna otra terminología. Un controlador 130 del sistema se conecta y proporciona coordinación y control para los puntos 110 de acceso.

5 El sistema 100 MIMO puede ser un sistema dúplex por división de tiempo (TDD) o un sistema dúplex por división de frecuencia (FDD). El enlace descendente y el enlace ascendente (1) comparten la misma banda de frecuencias para un sistema TDD y (2) usan diferentes bandas de frecuencia para un sistema FDD. La descripción a continuación supone que el sistema 100 MIMO es un sistema TDD.

El sistema 100 MIMO utiliza un conjunto de canales de transporte para transmitir diferentes tipos de datos. Los canales de transporte se pueden implementar de varias maneras.

10 La **FIG. 2** muestra una trama y estructura 200 del canal ejemplar que se puede usar para el sistema 100 MIMO. La transmisión de datos ocurre en tramas TDD. Cada trama TDD abarca una duración de tiempo predeterminada (por ejemplo 2 ms) y se particiona en una fase de enlace descendente y una fase de enlace ascendente. Cada fase se particiona adicionalmente en múltiples segmentos 210, 220, 230, 240 y 250 para múltiples canales de transporte.

15 En la fase del enlace descendente, un canal de difusión (BCH) transporta un piloto 214 de balizamiento, un piloto 216 MIMO y un mensaje 218 BCH. El piloto de balizamiento se usa para adquisición de tiempos y frecuencia. El piloto MIMO se usa para estimación del canal. El mensaje BCH transporta parámetros del sistema para los terminales de usuario. Un canal de control directo (FCCH) transporta información de planificación para asignaciones de los recursos del enlace descendente y enlace ascendente y otras señalizaciones para los terminales de usuario. Un canal directo (FCH) transporta unidades de datos de protocolo (PDU) del FCH en el enlace descendente. Una PDU 232a del FCH incluye un piloto 234a y un paquete de datos 236a y una PDU 232b del FCH incluye solamente un paquete de datos 236b. En la fase de enlace ascendente, un canal inverso (RCH) transporta unas PDU del RCH en el enlace ascendente. Una PDU 242a del RCH incluye solamente un paquete de datos 246a, y una PDU 242b del RCH incluye un piloto 244b y un paquete de datos 246b. Se usa un canal de acceso aleatorio (RACH) por los terminales de usuario para obtener acceso al sistema y para enviar mensajes cortos en el enlace ascendente. Una PDU 252 del RACH enviada en el RACH incluye un piloto 254 y un mensaje 256.

25 La **FIG. 3** muestra un diagrama de bloques de un punto 110x de acceso y los terminales 120x y 120y de usuario en el sistema 100 MIMO. El punto 110x de acceso es uno de los puntos de acceso de la FIG. 1 y está equipado con múltiples (N_{ap}) antenas 324a a 324ap. El terminal 120x de usuario está equipado con una única antena 352x y el terminal 120y de usuario está equipado con múltiples (N_{ut}) antenas 352a a 352ut.

30 En el enlace descendente, en el punto 110x de acceso, un procesador de datos 310 de TX recibe datos de tráfico para uno o más terminales de usuarios desde un origen de datos 308, datos de control desde un controlador 330 y posiblemente otros datos desde un planificador 334. Los diversos tipos de datos se pueden enviar sobre diferentes canales de transporte. El procesador de datos 310 de TX procesa (por ejemplo, codifica, intercala y mapea símbolos) los diferentes tipos de datos en base al uno o más esquemas de codificación y modulación para obtener N_s transmisiones continuas de símbolos de datos. Como se usa en el presente documento, un "símbolo de datos" se refiere a un símbolo de modulación para datos, y un "símbolo piloto" se refiere a un símbolo de modulación para piloto. Un procesador espacial 320 de TX recibe las N_s transmisiones continuas de símbolos de datos desde el procesador de datos 310 de TX, realiza el procesamiento espacial sobre los símbolos de datos con las matrices $\mathbf{F}_{ap}(k)$, para $k = 1 \dots N_F$, los multiplexa en símbolos piloto y proporciona N_{ap} transmisiones continuas de símbolos de transmisión para las N_{ap} antenas. Las matrices $\mathbf{F}_{ap}(k)$ se deducen de acuerdo con el modo de multiplexado espacial seleccionado para su uso. Se describe a continuación el procesamiento por parte del procesador de datos 310 de TX y del procesador espacial 320 de TX.

35 Cada modulador (MOD) 322 recibe y procesa una transmisión continua de símbolos de transmisión respectiva para tener una transmisión continua de símbolos OFDM y acondiciona adicionalmente (por ejemplo, amplifica, filtra y disminuye la frecuencia) de la transmisión continua de símbolos OFDM para generar una señal del enlace descendente. N_{ap} moduladores 322a a 322ap proporcionan N_{ap} señales del enlace descendente para transmisión desde las N_{ap} antenas 324a a 324ap, respectivamente, a los terminales de usuario.

40 En cada terminal de usuario 120, una o múltiples antenas 352 reciben las N_{ap} señales del enlace descendente, y cada antena proporciona una señal recibida a un demodulador (DEMOD) 354 respectivo. Cada demodulador 354 realiza un procesamiento complementario al realizado por el modulador 322 y proporciona una transmisión continua de símbolos recibidos. Para un terminal 120x de usuario de antena única, un procesador espacial 360x de RX realiza una demodulación coherente de la transmisión continua de símbolos recibidos desde un demodulador 354x único y proporciona una transmisión continua de símbolos de datos recuperados. Para un terminal 120y de usuario de antena múltiple, el procesador espacial 360y de RX realiza un procesamiento espacial sobre las N_{ut} transmisiones continuas de símbolos recibidas desde los N_{ut} demoduladores 354 con matrices de filtro espacial $\mathbf{M}_{ut}(k)$, para $k = 1 \dots N_F$, y proporciona N_{ut} transmisiones continuas de símbolos de datos recuperados. En cualquier caso, cada transmisión continua $\{\hat{s}_m\}$ de símbolos de datos recuperados es una estimación y la transmisión continua $\{s_m\}$ de símbolos de datos transmitidos por el punto 110x de acceso a ese terminal 120 de usuario. Un procesador de datos 370 de RX recibe y demultiplexa los símbolos de datos recuperados en los canales de transporte apropiados. Los símbolos de datos recuperados para cada canal de transporte se procesan entonces (por ejemplo,

desmapean, desintercalan y decodifican) para tener datos decodificados para ese canal de transporte. Los datos decodificados para cada canal de transporte pueden incluir datos de tráfico, datos de control recuperados y otros similares; que se pueden proporcionar a un receptor 372 de datos para almacenamiento y/o un controlador 380 para procesamiento adicional.

5 En cada terminal 120 de usuario, un estimador 378 del canal estima la respuesta del canal del enlace descendente y proporciona estimaciones del canal, que pueden incluir estimaciones de ganancias del canal, estimaciones de la SNR y otras similares. El controlador 380 recibe las estimaciones del canal, deduce los vectores y/o coeficientes usados para procesamiento espacial en los recorridos de transmisión y recepción y determina una velocidad adecuada para cada transmisión continua de símbolos de datos en el enlace descendente. Por ejemplo, el controlador 380y para el terminal 120y de usuario de múltiples antenas puede deducir las matrices $\underline{\mathbf{M}}_{ul}(k)$ de filtro espacial para el enlace descendente y las matrices $\underline{\mathbf{F}}_{ul}(k)$ de los vectores de dirección para el enlace ascendente en base a las matrices de respuesta del canal del enlace descendente $\underline{\mathbf{H}}_{dn}(k)$, para $k = 1 \dots N_F$. El controlador 380 puede recibir también el estado de cada paquete/trama recibido en el enlace descendente y juntar la información de realimentación para el punto 110x de acceso. La información de realimentación y los datos del enlace ascendente se procesa por un procesador de datos 390 de TX, se procesa espacialmente por un procesador espacial 392 de TX (si está presente en el terminal 120 de usuario), se multiplexa con símbolos piloto, se acondiciona por uno o más moduladores 354 y se transmite a través de una o más antenas 352 al punto 110x de acceso.

En el punto 110x de acceso, las señales del enlace ascendente transmitidas se reciben por las antenas 324, se demodulan por los demoduladores 322 y se procesan por un procesador 340 espacial de RX y un procesador 342 de datos de RX en una forma complementaria a la realizada en los terminales 120 de usuario. La información de realimentación recuperada se proporciona al controlador 330 y al planificador 334. El planificador 334 puede usar la información de realimentación para realizar un cierto número de funciones tales como (1) la planificación de un conjunto de terminales de usuario para transmisión de datos en el enlace descendente y el enlace ascendente y (2) la asignación de los recursos disponibles del enlace descendente y del enlace ascendente a los terminales planificados.

Los controladores 330 y 380 controlan la operación de varias unidades de procesamiento en el punto 110x de acceso y el terminal 120 de usuario, respectivamente. Por ejemplo, el controlador 380 puede determinar las velocidades más altas soportadas por los canales espaciales sobre el enlace descendente para el terminal 120 de usuario. El controlador 330 puede seleccionar la velocidad, tamaño de la carga y tamaño del símbolo OFDM para cada canal espacial de cada terminal de usuario planificado.

El procesamiento en el punto 110x de acceso y los terminales 120x y 120y de usuario para el enlace ascendente pueden ser los mismos o diferentes del procesamiento para el enlace descendente. Por claridad, se describe en detalle a continuación el procesamiento para el enlace descendente.

La **FIG. 4** muestra un diagrama de bloques de una realización de un procesador de datos 310 de TX en el punto 110x de acceso. Para esta realización, el procesador de datos 310 de TX incluye un conjunto de codificador 412, intercalador 414 del canal y unidad 416 de mapeado de símbolos para cada una de las N_s transmisiones continuas de datos. Para cada transmisión continua $\{d_m\}$ de datos, en la que $m = 1 \dots N_s$, un codificador 412 recibe y codifica la transmisión continua de datos en base a un esquema de codificación seleccionado para esa transmisión continua y proporciona códigos de bits. El esquema de codificación puede incluir CRC, convolucional, Turbo, comprobación de paridad de baja densidad (LDPC), bloque, y otras codificaciones o una combinación de las mismas. Un intercalador 414 del canal intercala (es decir, reordena) los bits del código en base a un esquema de intercalado. Una unidad 416 de mapeado de símbolos mapea los bits intercalados en base a un esquema de modulación seleccionado para esa transmisión continua y proporciona una transmisión continua de símbolos $\{s_m\}$ de datos. La unidad 416 agrupa cada conjunto B de bits intercalados para formar un valor binario de B bits, en el que $B \geq 1$ y mapea adicionalmente cada valor binario de B bits a un símbolo de datos específico en base al esquema de modulación seleccionado (por ejemplo QPSK, M-PSK o M-QAM, en los que $M = 2^B$). La codificación y modulación para cada transmisión continua de datos se realiza de acuerdo con los controles de codificación y modulación proporcionados por el controlador 330.

La **FIG. 5** muestra un diagrama de bloques de una realización de un procesador espacial 320 de TX y moduladores 322a a 322ap en el punto 110x de acceso. Para esta realización, el procesador espacial 320 de TX incluye N_s demultiplexores (Demux) 510a a 510s, N_F procesadores espaciales 520a a 520f de subbanda de TX y N_{ap} multiplexores (Mux) 530a a 530ap. Cada demultiplexor 510 recibe una transmisión continua $\{s_m\}$ de símbolos de datos respectiva desde el procesador espacial 320 de TX, demultiplexa la transmisión continua en N_F subtransmisiones continuas de símbolos de datos para las N_F subbandas y proporciona las N_F subtransmisiones continuas a los N_F procesadores espaciales 520a a 520f. Cada procesador espacial 520 recibe las N_s subtransmisiones continuas de símbolos de datos para sus subbandas desde los N_s demultiplexores 510a a 510s, realiza el procesamiento espacial del transmisor sobre estas subtransmisiones continuas, y proporciona N_{ap} subtransmisiones continuas de símbolos de transmisión para las N_{ap} antenas de los puntos de acceso. Cada procesador espacial 520 multiplica un vector $\underline{\mathbf{s}}_{dn}(k)$ de datos con una matriz $\underline{\mathbf{E}}_{ap}(k)$ para obtener un vector $\underline{\mathbf{x}}_{dn}(k)$ de transmisión. La matriz $\underline{\mathbf{E}}_{ap}(k)$ es igual a (1) una matriz $\underline{\mathbf{V}}_{dn}(k)$ de vectores propios derechos de $\underline{\mathbf{H}}_{dn}(k)$ para el modo dirigido de usuario único, (2) la matriz $\underline{\mathbf{E}}_{mup}(k)$ para el modo dirigido de múltiples usuarios o (3) la matriz identidad $\underline{\mathbf{I}}$

para el modo no dirigido de usuario único.

Cada multiplexor 530 recibe N_F subtransmisiones continuas de símbolos de transmisión para sus antenas de transmisión desde los N_F procesadores espaciales 520a a 520f, multiplexa estas subtransmisiones continuas y símbolos piloto y proporciona una transmisión continua $\{x_j\}$ de símbolos de transmisión para sus antenas de transmisión. Los símbolos pilotos se pueden multiplexar en frecuencia (es decir, en algunas subbandas), en el tiempo (es decir, en algunos periodos de símbolos) y/o en el espacio de códigos (es decir, con un código ortogonal). Los N_{ap} multiplexores 530a a 530ap proporcionan N_{ap} transmisiones continuas $\{x_j\}$ de símbolos de transmisión, para $j = 1 \dots N_{ap}$, para las N_{ap} antenas 324a a 324ap.

Para la realización mostrada la Fig. 5, cada modulador 322 incluye una unidad 542 de transformada de Fourier rápida inversa (IFFT), un generador 544 de prefijos cíclico y una unidad 546 de RF de TX. La unidad 542 de IFFT y el generador 544 de prefijos cíclicos forman un modulador OFDM. Cada modulador 322 recibe una transmisión continua $\{x_j\}$ de símbolos de transmisión desde el procesador espacial 320 de TX y agrupa cada conjunto de N_F símbolos de transmisión para las N_F subbandas. La unidad 542 de IFFT transforma cada conjunto de N_F símbolos de transmisión al dominio del tiempo usando una transformada de Fourier rápida inversa del punto N_F y proporciona un símbolo transformado correspondiente que contiene N_F chips. El generador 544 de prefijos cíclico repite una parte de cada símbolo transformado para obtener un símbolo OFDM correspondiente que contiene $N_F + N_{cp}$ chips. La parte repetida (es decir el prefijo cíclico) asegura que el símbolo OFDM retiene sus propiedades ortogonales en presencia de la distribución del retardo multi-trayecto producido por desvanecimiento selectivo de frecuencias. La unidad 546 de RF de TX recibe y acondiciona la transmisión continua de símbolos OFDM desde el generador 544 para generar una señal modulada del enlace descendente. Las N_{ap} señales moduladas del enlace descendente se transmiten desde las N_{ap} antenas 324a a 324ap, respectivamente.

La FIG. 6 muestra un diagrama de bloques de una realización de demoduladores 354a a 354ut y un procesador espacial 360y de RX para un terminal 120y de usuario de antena múltiple. En el terminal 120y de usuario, N_{ut} antenas 352a a 352ut reciben las N_{ap} señales moduladas transmitidas por el punto 110x de acceso y proporcionan N_{ut} señales recibidas a N_{ut} demoduladores 354a a 354ut, respectivamente. Cada demodulador 354 incluye una unidad 612 de RF de RX, una unidad 614 de eliminación del prefijo cíclico y una unidad 616 de transformada de Fourier rápida (FFT). Las unidades 614 y 616 forman un demodulador OFDM. Dentro de cada demodulador 354, la unidad 612 de RF de RX recibe, acondiciona y digitaliza una señal recibida respectiva y proporciona una transmisión continua de chips. La unidad 614 de eliminación del prefijo cíclico elimina el prefijo cíclico en cada símbolo OFDM recibido para tener un símbolo transformado recibido. La unidad 616 de FFT transforma a continuación cada símbolo transformado recibido al dominio de la frecuencia con una transformada de Fourier rápida de N_F puntos para obtener N_F símbolos recibidos para las N_F subbandas. La unidad 616 de FFT proporciona una transmisión continua de símbolos recibidos al procesador espacial 360y de RX y los símbolos piloto recibidos al estimador 378y del canal.

Para la realización mostrada en la FIG. 6, el procesador espacial 360y de RX incluye N_{ut} multiplexores 630a a 630ut para las N_{ut} antenas en el terminal 120y de usuario, N_F procesadores espaciales 640a a 640f de subbanda de RX y N_F unidades 642a a 642f de escalado para las N_F subbandas y N_S multiplexores 650a a 650s para las N_S transmisiones continuas de datos. El procesador espacial 360y de RX obtiene N_{ut} transmisiones continuas $\{r_i\}$ de símbolos recibidos, para $i = 1 \dots N_{ut}$, desde los demoduladores 354a a 354ur. Cada demultiplexor 630 recibe una transmisión continua $\{r_i\}$ de símbolos recibidos respectivos, demultiplexa la transmisión continua en N_F subtransmisiones continuas de símbolos recibidos para las N_F subbandas y proporciona las N_F subtransmisiones continuas a los N_F procesadores espaciales 640a a 640f. Cada procesador espacial 640 obtiene N_{ut} subtransmisiones continuas de símbolos recibidos para su subbanda desde los N_{ut} demultiplexores 630a a 630ut, realiza un procesamiento espacial en el receptor de estas subtransmisiones continuas y proporciona N_S subtransmisiones continuas de símbolos detectados para su subbanda. Cada procesador espacial 640 multiplica un vector $\mathbf{r}_{dn}(k)$ recibido con una matriz $\mathbf{M}_{ut}(k)$ para obtener un vector $\hat{\mathbf{s}}_{dn}(k)$. La matriz $\mathbf{M}_{ut}(k)$ es igual a (1) una matriz $\mathbf{U}_{ut}^H(k)$ de vectores propios izquierdos de $\mathbf{H}_{dn}(k)$ para el modo dirigido de usuario único o (2) la matriz $\mathbf{M}_{ccmi}(k)$, $\mathbf{M}_{mmse}(k)$, o alguna otra matriz para el modo no dirigido de usuario único.

Cada unidad 642 de escalado recibe N_S subtransmisiones continuas de símbolos detectados para su subbanda, escala estas subtransmisiones continuas y proporciona N_S subtransmisiones continuas de símbolos de datos recuperados para su subbanda. Cada unidad 642 de escalado realiza el escalado de la señal del vector $\hat{\mathbf{s}}_{dn}(k)$ de símbolos detectados con una matriz diagonal $\mathbf{D}_{ut}^{-1}(k)$ y proporciona el vector $\hat{\mathbf{s}}_{dn}(k)$ de símbolos de datos recuperados. Cada multiplexor 650 recibe y multiplexa N_F subtransmisiones continuas de símbolos de datos recuperados para su subtransmisión continua de datos desde las N_F unidades 642a a 642f de escalado y proporciona una subtransmisión continua de símbolos de datos recuperados. Los N_S multiplexores 650a a 650s proporcionan N_S subtransmisiones continuas $\{\hat{s}_m\}$ de símbolos de datos recuperados, para $m = 1 \dots N_S$.

La FIG. 7 muestra un diagrama de bloques de una realización de un procesador de datos 370y de RX en el terminal 120y de usuario. El procesador de datos 370y de RX incluye un conjunto de unidades 712 de desmapeado de símbolos, un desintercalador 714 del canal y un decodificador 716 para cada una de las N_S transmisiones continuas de datos. Para cada transmisión continua $\{\hat{s}_m\}$ de símbolos de datos recuperados, en la que $m = 1 \dots N_S$, una unidad

712 de desmapeado de símbolos demodulada y recupera los símbolos de datos de acuerdo con el esquema de modulación usado para esa transmisión continua y proporciona los datos demodulados. Un desintercalador 714 del canal desintercala los datos demodulados en una forma complementaria al intercalado realizado en esa transmisión continua por el punto 110x de acceso. Un decodificador 716 decodifica entonces los datos desintercalados en una forma complementaria a la codificación realizada por el punto 110x de acceso sobre esa transmisión continua. Por ejemplo, se puede usar un Turbo decodificador o un decodificador Viterbi para decodificar 716 si se realiza una codificación Turbo o convolucional, respectivamente, en el punto 110x de acceso. El decodificador 716 proporciona un paquete decodificado por cada paquete de datos recibido. El decodificador 716 comprueba adicionalmente cada paquete decodificado para determinar si el paquete está decodificado correctamente o en error y proporciona el estado del paquete decodificado. La demodulación y decodificación para cada transmisión continua de símbolos de datos recuperados se realiza de acuerdo con los controles de demodulación y decodificación proporcionados por el controlador 380y.

La FIG. 8 muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial 360z de RX y un procesador de datos 370z de RX, que implementan la técnica SIC. El procesador espacial 360z de RX y el procesador de datos 370z de RX implementan N_S etapas de procesamiento del receptor sucesivas (es decir en cascada) para las N_S transmisiones continuas de símbolos de datos. Cada una de las etapas 1 a N_S-1 incluye un procesador espacial 810, un cancelador 820 de interferencias, un procesador 830 de la transmisión continua de datos de RX y un procesador 840 de la transmisión continua de datos de TX. La última etapa incluye sólo un procesador espacial 810s y un procesador 830s de transmisión continua de datos de RX. Cada procesador 830 de transmisión continua de datos de RX incluye una unidad 712 de desmapeado de símbolos, un desintercalador 714 del canal y un decodificador 716, como se muestra en la FIG. 7. Cada procesador 840 de la transmisión continua de datos de TX incluye un codificador 412, un intercalador 414 del canal y una unidad 416 de mapeado de símbolos, como se muestra en la FIG. 4.

Para la etapa 1, el procesador espacial 810a realiza un procesamiento espacial en el receptor de las N_{ut} transmisiones continuas de símbolos recibidos y proporciona una transmisión continua $\{\hat{s}_{j_1}\}$ de símbolos de datos recuperados, en la que el subíndice j_1 indica la antena del punto de acceso usada para transmitir la transmisión continua $\{s_{j_1}\}$ de símbolos de datos. El procesador 830a de la transmisión continua de datos de RX demodula, desintercala y decodifica la transmisión continua $\{\hat{s}_{j_1}\}$ de símbolos de datos recuperados y proporciona una transmisión continua $\{\hat{d}_{j_1}\}$ de datos decodificados correspondiente. El procesador 840a de la transmisión continua de datos de TX codifica, intercala y modula la transmisión continua $\{\hat{d}_{j_1}\}$ de datos decodificados en la misma forma realizada por el punto 110x de acceso para esa transmisión continua y proporciona una transmisión continua $\{\tilde{s}_{j_1}\}$ de símbolos de datos remodulados. El cancelador 820a de interferencias realiza un procesamiento espacial sobre la transmisión continua $\{\tilde{s}_{j_1}\}$ de símbolos de datos remodulados en la misma forma (si hay alguna) realizada por el punto 110x de acceso y procesa adicionalmente al resultado con la matriz $\underline{H}_{dn}(k)$ de respuesta del canal para obtener N_{ut} componentes de interferencia debidos a la transmisión continua $\{s_{j_1}\}$ de símbolos de datos. Los N_{ut} componentes de interferencia se restan de las N_{ut} transmisiones continuas de símbolos recibidas para obtener N_{ut} transmisiones continuas de símbolos modificadas, que se proporcionan a la etapa 2.

Cada una de las etapas 2 a N_S-1 realiza el mismo procesamiento que la etapa 1, sin embargo sobre las N_{ut} transmisiones continuas de símbolos modificadas de la etapa precedente en lugar de las N_{ut} transmisiones continuas de símbolos recibidas. La última etapa realiza un procesamiento espacial y decodificación sobre las N_{ut} transmisiones continuas de símbolos modificadas de la etapa N_S-1 y no realiza una estimación y cancelación de interferencias.

Los procesadores espaciales 810a a 810s pueden implementar cada uno la técnica CCMI, MMSE o alguna otra técnica de procesamiento en el receptor. Cada procesador espacial 810 multiplica un vector $\underline{r}_{dn}^e(k)$ con una matriz $\underline{M}_{dn}^e(k)$ para obtener un vector $\tilde{\underline{s}}_{dn}^e(k)$ de símbolos detectados, selecciona y escala una de las transmisiones continuas de símbolos detectados y proporciona la transmisión continua de símbolos detectados como la transmisión continua de símbolos de datos recuperados para esa etapa. La matriz $\underline{M}_{dn}^e(k)$ se deduce en base a la una matriz $\underline{H}_{dn}^e(k)$ de respuesta del canal reducida para la etapa.

Las unidades de procesamiento en el punto 110x de acceso y en el terminal 120y de usuario para el enlace ascendente se pueden implementar como se ha descrito anteriormente para el enlace descendente. El procesador de datos 390y de TX y el procesador espacial 392y de TX se pueden implementar con el procesador de datos 310 de TX de la FIG. 4 y el procesador espacial 320 de TX de la FIG. 5, respectivamente. El procesador espacial 340 de RX se puede implementar con el procesador 360y o 360z de RX y el procesador de datos 342 de RX se puede implementar con el procesador de datos 370y o 370z.

Para un terminal 120x de usuario de antena única, el procesador espacial 360x de RX realiza una demodulación coherente de una transmisión continua de símbolos recibidos con estimaciones del canal para obtener una transmisión continua de símbolos de datos recuperados.

A. Estimación del canal

La respuesta del canal del enlace descendente y enlace ascendente se pueden estimar de varias maneras tal como con un piloto MIMO o un piloto dirigido. Para un sistema MIMO TDD, se pueden usar ciertas técnicas para simplificar la estimación del canal.

5 Para el enlace descendente, el punto 110x de acceso puede transmitir un piloto MIMO a los terminales 120 de usuario. El piloto MIMO comprende N_{ap} transmisiones piloto desde las N_{ap} antenas de los puntos de acceso, estando la transmisión piloto desde cada antena "cubierta" con una secuencia ortogonal diferente (por ejemplo, una secuencia Walsh). La cobertura es un proceso mediante el que un símbolo de modulación dado (un conjunto de L símbolos de modulación con el mismo valor) a transmitir se multiplica por todos los L chips de una secuencia ortogonal de L chips para obtener L símbolos cubiertos, que a continuación se transmiten. La cobertura consigue la ortogonalidad entre las N_{ap} transmisiones piloto enviadas desde las N_{ap} antenas del punto de acceso y permite a los terminales de usuario distinguir la transmisión piloto desde cada antena.

15 En cada terminal 120 de usuario, el estimador 378 del canal "descubre" los símbolos piloto recibidos para cada antena i del terminal de usuario con las mismas N_{ap} secuencias ortogonales usadas por el punto 110x de acceso para las N_{ap} antenas para obtener estimaciones de ganancia del canal complejas entre la antena i del terminal de usuario y cada una de las N_{ap} antenas del punto de acceso. El descubrimiento es complementario a la cobertura y es un proceso mediante el que los símbolos (piloto) recibidos se multiplican por los L chips de la secuencia ortogonal de L chips para obtener L símbolos descubiertos, que se acumulan entonces para obtener una estimación del símbolo (piloto) transmitido. Cada estimador 378 del canal realiza el mismo procesamiento del piloto para cada subbanda usada para la transmisión piloto. Si los símbolos piloto se transmiten solamente sobre un subconjunto de las N_F subbandas, entonces el estimador 378 del canal puede realizar un interpolado sobre las estimaciones de respuesta del canal para las subbandas con transmisión piloto para obtener estimaciones de respuesta del canal para subbandas sin transmisión piloto. Para el terminal 120x de usuario de antena única, el estimador 378x del canal proporciona vectores $\hat{\mathbf{h}}_{dn}(k)$ de respuesta del canal del enlace descendente, para $k = 1 \dots N_F$, para la única antena 25 352. Para un terminal 120y de usuario de antena múltiple, el estimador 378y del canal realiza el mismo procesamiento del piloto para todas las N_{ut} antenas 352a a 352ut y proporciona matrices $\hat{\mathbf{H}}_{dn}(k)$ de respuesta del canal del enlace descendente, para $k = 1 \dots N_F$. Cada terminal 120 de usuario puede estimar también la variación de ruido para el enlace descendente en base a los símbolos piloto recibidos y proporciona la estimación de ruido del enlace descendente, $\hat{\sigma}_{dn}^2$.

30 Para el enlace ascendente, el terminal 120y de usuario de antena múltiple puede transmitir un piloto MIMO que se puede usar por el punto 110x de acceso para estimar la respuesta $\hat{\mathbf{H}}_{up}(k)$ del canal del enlace ascendente para el terminal 120y de usuario. El terminal 120x de usuario de antena única puede transmitir un piloto desde su única antena. Múltiples terminales 120 de usuario de antena única puede transmitir simultáneamente pilotos ortogonales sobre el enlace ascendente, en el que la ortogonalidad se puede conseguir en tiempo y/o frecuencia. La ortogonalidad en el tiempo se puede obtener haciendo que cada terminal de usuario cubra su piloto del enlace ascendente con una secuencia ortogonal diferente asignada al terminal de usuario. La ortogonalidad de frecuencia se puede obtener haciendo que cada terminal de usuario transmita su piloto del enlace ascendente en un conjunto diferente de subbandas. Las transmisiones piloto en el enlace ascendente simultáneas desde múltiples terminales de usuario deberían estar aproximadamente alineadas en el tiempo en el punto 120x de acceso (por ejemplo, alineadas en el tiempo dentro del prefijo cíclico).

45 Para un sistema MIMO TDD, existe normalmente un alto grado de correlación entre las respuestas del canal para el enlace descendente y el enlace ascendente dado que estos enlaces comparten la misma banda de frecuencias. Sin embargo, las respuestas de las cadenas de transmisión/recepción en el punto de acceso no son típicamente las mismas que las respuestas de las cadenas de transmisión/recepción en el terminal de usuario. Si las diferencias se determinan y se tienen en cuenta por medio de una calibración, entonces la respuestas del canal del enlace descendente y del enlace ascendente globales se pueden suponer recíprocas (es decir traspuestas) entre sí.

La **FIG. 9** muestra las cadenas de transmisión/recepción en el punto 110x de acceso y en el terminal 120y de usuario. En el punto 110x de acceso, el trayecto de transmisión se modeliza mediante una matriz $\mathbf{I}_{ap}(k)$ de $N_{ap} \times N_{ap}$ y el recorrido de recepción se modeliza mediante una matriz $\mathbf{R}_{ap}(k)$ de $N_{ap} \times N_{ap}$. En el terminal 120y de usuario, el trayecto de recepción se modeliza mediante una matriz $\mathbf{R}_{ut}(k)$ de $N_{ut} \times N_{ut}$ y el recorrido de transmisión se modeliza mediante una matriz $\mathbf{I}_{ut}(k)$ de $N_{ut} \times N_{ut}$. Los vectores de símbolos recibidos para el enlace descendente y el enlace ascendente para cada subbanda se pueden expresar como:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_{dn}(k) &= \mathbf{R}_{ut}(k) \mathbf{H}(k) \mathbf{I}_{ap}(k) \mathbf{x}_{dn}(k), & \text{y} & \text{Ec. (33)} \\ \mathbf{r}_{up}(k) &= \mathbf{R}_{ap}(k) \mathbf{H}^T(k) \mathbf{I}_{ut}(k) \mathbf{x}_{up}(k), \end{aligned}$$

55 en la que "τ" indica la traspuesta. La ecuación (34) supone que el enlace descendente y el enlace ascendente son traspuestos entre sí. Las respuestas, $\mathbf{H}_{edn}(k)$ y $\mathbf{H}_{eup}(k)$, del canal del enlace descendente y del enlace ascendente

“efectivas”, para cada subbanda, incluyen las respuestas de las cadenas de transmisión y recepción y se pueden expresar como:

$$\mathbf{H}_{\text{edn}}(k) = \mathbf{R}_{\text{ut}}(k) \mathbf{H}(k) \mathbf{I}_{\text{ap}}(k) \quad \text{y} \quad \mathbf{H}_{\text{eup}}(k) = \mathbf{R}_{\text{ap}}(k) \mathbf{H}^T(k) \mathbf{I}_{\text{ut}}(k) . \quad \text{Ec. (34)}$$

5 Las respuestas del canal del enlace descendente y del enlace ascendente efectivas no son recíprocas entre sí (es decir, $\mathbf{H}_{\text{edn}}(k) \neq \mathbf{H}_{\text{eup}}(k)$) si las respuestas de las cadenas de transmisión/recepción del enlace descendente y del enlace ascendente no son iguales entre sí.

El punto 110x de acceso y el terminal 120y de usuario pueden realizar una calibración para obtener las matrices de corrección $\mathbf{K}_{\text{ap}}(k)$ y $\mathbf{K}_{\text{ut}}(k)$ para cada subbanda, que se pueden expresar como:

$$\mathbf{K}_{\text{ap}}(k) = \mathbf{I}_{\text{ap}}^{-1}(k) \mathbf{R}_{\text{ap}}(k) \quad \text{y} \quad \mathbf{K}_{\text{ut}}(k) = \mathbf{I}_{\text{ut}}^{-1}(k) \mathbf{R}_{\text{ut}}(k) . \quad \text{Ec. (35)}$$

10 las matrices de corrección se pueden obtener transmitiendo pilotos MIMO tanto en el enlace descendente como en el enlace ascendente y reduciendo las matrices de corrección usando los criterios MMSE o cualquier otra técnica. Las matrices $\mathbf{K}_{\text{ap}}(k)$ y $\mathbf{K}_{\text{ut}}(k)$ de corrección se aplican en el punto 110x de acceso y en el terminal 120y de usuario, respectivamente, como se muestra en la FIG. 9. Las respuestas, $\mathbf{H}_{\text{edn}}(k)$ y $\mathbf{H}_{\text{eup}}(k)$, del canal del enlace descendente y del enlace ascendente “calibradas” son entonces recíprocas entre sí y se pueden expresar como:

$$15 \quad \mathbf{H}_{\text{cup}}(k) = \mathbf{H}_{\text{up}}(k) \mathbf{K}_{\text{ut}}(k) = (\mathbf{H}_{\text{dn}}(k) \mathbf{K}_{\text{ap}}(k))^T = \mathbf{H}_{\text{cdn}}^T(k) . \quad \text{Ec. (36)}$$

La descomposición del valor singular de las matrices, $\mathbf{H}_{\text{cup}}(k)$ y $\mathbf{H}_{\text{cdn}}(k)$, de respuesta del canal del enlace ascendente y del enlace descendente calibradas para cada subbanda se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_{\text{cup}}(k) &= \mathbf{U}_{\text{ap}}(k) \mathbf{\Sigma}(k) \mathbf{V}_{\text{ut}}^H(k) , \quad \text{y} \\ \mathbf{H}_{\text{cdn}}(k) &= \mathbf{V}_{\text{ut}}^*(k) \mathbf{\Sigma}(k) \mathbf{U}_{\text{ap}}^H(k) . \end{aligned} \quad \text{Ec. (37)}$$

20 Como se muestra en el conjunto de ecuaciones (38), las matrices $\mathbf{V}_{\text{ut}}^*(k)$ y $\mathbf{U}_{\text{ap}}^*(k)$ de los vectores propios izquierdo y derecho de $\mathbf{H}_{\text{cdn}}(k)$ son la conjugada compleja de las matrices $\mathbf{V}_{\text{ut}}(k)$ y $\mathbf{U}_{\text{ap}}(k)$ de los vectores propios derecho e izquierdo de $\mathbf{H}_{\text{cup}}(k)$. La matriz $\mathbf{U}_{\text{ap}}(k)$ se puede usar por el punto 110x de acceso para el procesamiento espacial tanto de la transmisión como de la recepción. La matriz $\mathbf{V}_{\text{ut}}(k)$ se puede usar por el terminal 120y de usuario para el procesamiento espacial tanto de la transmisión como de la recepción.

25 Debido a la naturaleza recíproca del canal MIMO para el sistema MIMO TDD, y después de que se haya realizado la calibración para tener en cuenta la diferencia en las cadenas de transmisión/recepción, la descomposición del valor singular sólo necesita realizarse por o bien el terminal 120y de usuario o bien el punto 110x de acceso. Si se realiza por el terminal 120y de usuario, entonces las matrices $\mathbf{V}_{\text{ut}}(k)$, para $k = 1 \dots N_F$, se usan para el procesamiento espacial en el terminal de usuario y la matriz $\mathbf{U}_{\text{ap}}(k)$, para $k = 1 \dots N_F$, se puede proporcionar al punto de acceso bien en la forma directa (por ejemplo, enviando entradas de las matrices $\mathbf{U}_{\text{ap}}(k)$) o bien una forma indirecta (por ejemplo, a través de un piloto dirigido). En la actualidad, los terminales 120y de usuario sólo pueden obtener $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$, que es una estimación de $\mathbf{H}_{\text{cdn}}(k)$, y sólo pueden deducir $\hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$, $\hat{\mathbf{\Sigma}}(k)$ y $\hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$, que son estimaciones de $\mathbf{V}_{\text{ut}}(k)$, $\mathbf{\Sigma}(k)$ y $\mathbf{U}_{\text{ap}}(k)$, respectivamente. Por simplicidad, la descripción en el presente documento supone una estimación del canal sin errores.

35 Un piloto dirigido del enlace ascendente enviado por el terminal 120y de usuario se puede expresar como:

$$\mathbf{x}_{\text{up},m}(k) = \mathbf{K}_{\text{ut}}(k) \mathbf{v}_{\text{ut},m}(k) \rho(k) , \quad \text{Ec. (38)}$$

en la que $\mathbf{v}_{\text{ut},m}(k)$ es la m -ésima columna de $\mathbf{V}_{\text{ut}}(k)$ y $\rho(k)$ es el símbolo piloto. El piloto dirigido del enlace ascendente en el punto 110x de acceso se puede expresar como:

$$\mathbf{r}_{\text{up},m}(k) = \mathbf{u}_{\text{up},m}(k) \sigma_m \rho(k) + \mathbf{n}_{\text{up}}(k) . \quad \text{Ec. (39)}$$

40 La ecuación (40) indica que el punto 110x de acceso puede obtener la matriz $\mathbf{U}_{\text{ap}}(k)$, un vector cada vez, en base al piloto dirigido del enlace ascendente desde el terminal 120y de usuario.

Se puede realizar también un proceso complementario por el que el terminal 120y de usuario transmite un piloto MIMO en el enlace ascendente, y el punto 110x de acceso realiza una descomposición del valor singular y transmite un piloto dirigido sobre el enlace descendente. La estimación del canal para el enlace descendente y el enlace ascendente se pueden realizar también de otras maneras.

45 En cada terminal 120 de usuario, un estimador 378 del canal puede estimar la respuesta del canal del enlace descendente (por ejemplo en base a un piloto MIMO o un piloto dirigido enviado por el punto 110x de acceso) y proporcionar estimaciones del canal del enlace descendente al controlador 380. Para un terminal 120x de usuario de antena única, el controlador 380x puede deducir las ganancias del canal complejas usadas para demodulación coherente. Para un terminal 120y de usuario de antena múltiple, el controlador 380y puede deducir la matriz $\mathbf{M}_{\text{ut}}(k)$

usada para procesamiento espacial de recepción y la matriz $\mathbf{F}_{ut}(k)$ usada para procesamiento espacial de transmisión en base a las estimaciones del canal del enlace descendente. En el punto 110x de acceso, el estimador 328 del canal puede estimar la respuesta del canal del enlace ascendente (por ejemplo, en base a un piloto dirigido o a un piloto MIMO enviado por el terminal 120 de usuario) y proporcionar estimaciones del canal del enlace ascendente al controlador 380. El controlador 380 puede deducir la matriz $\mathbf{F}_{ap}(k)$ usada para procesamiento espacial de transmisión y la matriz $\mathbf{M}_{ap}(k)$ usada para procesamiento espacial de recepción en base a las estimaciones del canal del enlace ascendente.

La FIG. 9 muestra el procesamiento espacial en el punto 110x de acceso y en el terminal 120y de usuario para el enlace descendente y el enlace ascendente para una subbanda k . Para el enlace descendente, dentro del procesador espacial 320 de TX en el punto 110x de acceso, el vector $\mathbf{s}_{dn}(k)$ de datos se multiplica primero con la matriz $\mathbf{F}_{ap}(k)$ por una unidad 910 y se multiplica adicionalmente con la matriz de corrección $\mathbf{K}_{ap}(k)$ por una unidad 912 para obtener el vector $\mathbf{x}_{dn}(k)$ de transmisión. El vector $\mathbf{x}_{dn}(k)$ se procesa por una cadena 914 de transmisión con moduladores 322 y se transmite a través del canal MIMO al terminal 120y de usuario. Las unidades 910 y 912 realizan el procesamiento espacial de la transmisión para el enlace descendente y se pueden implementar dentro del procesador espacial 520 de subbanda de TX de la FIG. 5.

En el terminal 120y de usuario, las señales del enlace descendente se procesan por una cadena 954 de recepción dentro de demoduladores 354 para obtener el vector $\mathbf{r}_{dn}(k)$ de recepción. Dentro del procesador espacial 360y de RX, el vector $\mathbf{r}_{dn}(k)$ de recepción se multiplica primero con la matriz $\mathbf{M}_{ut}(k)$ por una unidad 956 y se escala a continuación con la matriz diagonal inversa $\mathbf{D}_{ut}^{-1}(k)$ por una unidad 958 para obtener el vector $\hat{\mathbf{s}}_{dn}(k)$, que es una estimación del vector $\mathbf{s}_{dn}(k)$ de datos. Las unidades 956 y 958 realizan el procesamiento espacial de recepción para el enlace descendente y se pueden implementar dentro del procesador espacial 640 de la subbanda de RX de la FIG. 6.

Para el enlace ascendente, dentro del procesador espacial 392y de TX en el terminal 120y de usuario, el vector $\mathbf{s}_{up}(k)$ de datos se multiplica primero con la matriz $\mathbf{F}_{ut}(k)$ por una unidad 960 y se multiplica adicionalmente con la matriz de corrección $\mathbf{K}_{ut}(k)$ por una unidad 962 para obtener el vector $\mathbf{x}_{up}(k)$ de transmisión. El vector $\mathbf{x}_{up}(k)$ se procesa por una cadena 964 de transmisión dentro de moduladores 354 y se transmite a través del canal MIMO al punto 110x de acceso. Las unidades 960 y 962 realizan el procesamiento espacial de la transmisión para el enlace ascendente.

En el punto 110x de acceso, las señales del enlace ascendente se procesan por una cadena 924 de recepción dentro de los demoduladores 322 para obtener un vector $\mathbf{r}_{up}(k)$ de recepción. Dentro del procesador espacial 340 de RX, el vector $\mathbf{r}_{up}(k)$ de recepción se multiplica primero con la matriz $\mathbf{M}_{ap}(k)$ por una unidad 926 y se escala adicionalmente con la matriz diagonal inversa $\mathbf{D}_{ap}^{-1}(k)$ por una unidad 928 para obtener el vector $\hat{\mathbf{s}}_{up}(k)$, que es una estimación del vector $\mathbf{s}_{up}(k)$ de datos. Las unidades 926 y 928 realizan el procesamiento espacial de recepción para el enlace ascendente.

B. Procesamiento espacial para el sistema MIMO TDD

La Tabla 3 resume las transmisiones piloto ejemplares y el procesamiento espacial realizado por el punto de acceso y los terminales de usuario para transmisión de datos en el enlace descendente y el enlace ascendente para varios modos de multiplexado espacial en el sistema MIMO TDD. Para el modo dirigido de usuario único, el punto de acceso transmite un piloto MIMO para permitir al terminal de usuario estimar la respuesta del canal del enlace descendente. El terminal de usuario transmite un piloto dirigido para permitir al punto de acceso estimar la respuesta del canal del enlace ascendente. El punto de acceso realiza el procesamiento espacial de transmisión y recepción con $\mathbf{U}_{ap}(k)$. El terminal de usuario realiza el procesamiento espacial de transmisión y recepción con $\mathbf{V}_{ut}(k)$.

Para el modo no dirigido de usuario único, para transmisión de datos del enlace descendente, el punto de acceso transmite un piloto MIMO para todas las antenas y una transmisión continua de símbolos de datos para cada antena. El terminal de usuario estima la respuesta del canal del enlace descendente con el piloto MIMO y realiza un procesamiento espacial de la recepción usando las estimaciones del canal del enlace descendente. El procesamiento complementario tiene lugar para la transmisión de datos en el enlace ascendente.

Tabla 3

Modo de Multiplexado Espacial	Transmisión de datos en el enlace descendente	Transmisión de datos en el enlace ascendente
Dirigido de usuario único	El AP transmite un piloto MIMO El UT transmite un piloto dirigido El AP transmite datos con $\underline{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ UT recibe datos con $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$	El AP transmite un piloto MIMO El UT transmite un piloto dirigido UT transmite datos con $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$ AP recibe datos con $\underline{\mathbf{U}}_{ap}(k)$
No dirigido de usuario único	El AP transmite un piloto MIMO El AP transmite datos desde cada antena El UT usa CCMI, MMSE, etc.	El UT transmite un piloto MIMO El UT transmite datos desde cada antena El AP usa CCMI, MMSE, etc.
Dirigido de múltiples usuarios	Los UT transmiten pilotos ortogonales El AP transmite datos dirigidos El AP transmite un piloto dirigido Los UT reciben el piloto dirigido	El AP transmite un piloto MIMO Los UT transmiten pilotos dirigidos Los UT transmiten datos dirigidos El AP usa CCMI, MMSE, etc.
No dirigido de múltiples usuarios	El AP transmite un piloto MIMO Los UT envían la velocidad para cada antena del AP El AP transmite datos desde cada antena Los UT usan CCMI, MMSE, etc.	Los UT transmiten pilotos ortogonales El AP selecciona los UT compatibles Los UT transmiten datos desde cada antena El AP usa CCMI, MMSE, etc.

5 Para el modo dirigido de múltiples usuarios, para transmisión de datos en el enlace descendente a terminales de usuario de antena única y/o de antena múltiple, los terminales de usuario transmiten pilotos ortogonales sobre el enlace ascendente para permitir al punto de acceso estimar la respuesta del canal del enlace descendente. Un terminal de usuario de antena única transmite un piloto no dirigido, y un terminal de usuario de antena múltiple transmite un piloto dirigido. El punto de acceso deduce los vectores de dirección del enlace descendente en base a los pilotos del enlace ascendente ortogonales y usa los vectores dirigidos para transmitir pilotos dirigidos y transmisiones continuas de símbolos de datos dirigidos a los terminales de usuario seleccionados. Cada terminal de usuario usa el piloto dirigido para recibir la transmisión continua de símbolos de datos dirigidos enviados al terminal de usuario. Para transmisión de datos del enlace ascendente desde terminales de usuario de antena múltiple, el punto de acceso transmite un piloto MIMO. Cada terminal de usuario de antena múltiple transmite un piloto dirigido y una transmisión continua de símbolos de datos dirigidos en el enlace ascendente. El punto de acceso realiza un procesamiento espacial de recepción (por ejemplo, CCMI, MMSE y otros similares) para recuperar las transmisiones continuas de símbolos de datos.

10 Para el modo no dirigido de múltiples usuarios, para transmisión de datos en el enlace descendente a terminales de usuario de antena múltiple, el punto de acceso transmite un piloto MIMO en el enlace descendente. Cada terminal de usuario determina y envía de vuelta la velocidad que puede recibir para cada antena del punto de acceso. El punto de acceso selecciona un conjunto de terminales de usuario y transmite las transmisiones continuas de símbolos de datos para los terminales de usuario seleccionados desde las antenas del punto de acceso. Cada terminal de usuario de antena múltiple realiza un procesamiento espacial de recepción (por ejemplo, CCMI, MMSE y otros similares) para recuperar su transmisión continua de símbolos de datos. Para la transmisión de datos en el enlace ascendente desde terminales de usuario de antena única y/o antena múltiple, los terminales de usuario transmiten pilotos ortogonales (no dirigidos) sobre el enlace ascendente. El punto de acceso estima la respuesta del canal del enlace ascendente en base a los pilotos del enlace ascendente y selecciona un conjunto de terminales de usuario compatibles. Cada terminal de usuario seleccionado transmite una transmisión continua de símbolos de datos desde una antena del terminal de usuario. El punto de acceso realiza un procesamiento espacial de recepción (por ejemplo, CCMI, MMSE y otros similares) para recuperar las transmisiones continuas de símbolos de datos.

C. Selección de velocidad

30 Cada transmisión continua de datos para el enlace descendente y el enlace ascendente se transmite sobre un canal m espacial de banda ancha que usa uno de los modos de multiplexado espacial. Cada transmisión continua de datos se transmite también a una velocidad que se selecciona de modo que se pueda conseguir el nivel objetivo de rendimiento (por ejemplo, una tasa de error de paquetes (PER) del 1 por ciento) para esa transmisión continua. La velocidad de cada transmisión continua de datos se puede determinar en base a la SNR conseguida en el receptor para esa transmisión continua (es decir, la SNR recibida), en la que la SNR depende del procesamiento espacial realizado en el transmisor y el receptor, como se ha descrito anteriormente.

40 En un esquema de selección de velocidad ejemplar, la determinación de la velocidad para el canal m espacial de banda ancha, se obtiene primero una estimación de la SNR, $\gamma_m(k)$, (por ejemplo en unidades de dB) para cada subbanda k del canal espacial de banda ancha, como se ha descrito anteriormente. Se calcula a continuación una media de las SNR, γ_{avg} , para el canal m espacial de banda ancha, como sigue:

$$\gamma_{avg,m} = \frac{1}{N_F} \sum_{k=1}^{N_F} \gamma_m(k) . \quad \text{Ec. (40)}$$

La varianza de las estimaciones de SNR, $\sigma_{\gamma_m}^2$, se calcula también como sigue:

$$\sigma_{\gamma_m}^2 = \frac{1}{N_F - 1} \sum_{k=1}^{N_F} (\gamma_m(k) - \gamma_{avg,m})^2 . \quad \text{Ec. (41)}$$

Se determina un factor de retroceso de la SNR, $\gamma_{bo,m}$, en base a una función $F(\gamma_{avg,m}, \sigma_{\gamma_m}^2)$ de la media de SNR y la varianza de SNR. Por ejemplo se puede usar la función $F(\gamma_{avg,m}, \sigma_{\gamma_m}^2) = K_b \cdot \sigma_{\gamma_m}^2$, en la que K_b es un factor de escala que se puede seleccionar en base a una o más características del sistema MIMO tales como el intercalado, tamaño del paquete y/o esquema de codificación usado para la transmisión continua de datos. El factor de retroceso de la SNR tiene en cuenta la variación en las SNR a través del canal espacial de banda ancha. Se calcula a continuación una SNR operativa, $\gamma_{op,m}$, para el canal m espacial de banda ancha, como sigue:

$$\gamma_{op,m} = \gamma_{avg,m} - \gamma_{bo,m} . \quad \text{Ec. (42)}$$

La velocidad para la transmisión continua de datos se determina a continuación en base a la SNR operativa. Por ejemplo, una tabla de búsqueda (LUT) puede almacenar un conjunto de velocidades soportadas por el sistema MIMO y sus SNR requeridas. Las SNR requeridas para cada velocidad se pueden determinar mediante simulación por ordenador, medición empírica y otros similares, y en base a una suposición de un canal AWGN. Se selecciona la velocidad más alta en la tabla de búsqueda con una SNR requerida que sea igual a o inferior a la SNR operativa como la velocidad para la transmisión continua de datos enviada en el canal m espacial de banda ancha.

Se pueden usar también varios otros esquemas de selección de velocidad.

D. Control de velocidad en bucle cerrado

El control de velocidad en bucle cerrado se puede usar para cada una de las transmisiones continuas de datos transmitidas en múltiples canales espaciales de banda ancha. El control de velocidad en bucle cerrado se puede conseguir con uno o múltiples bucles.

La **FIG. 10** muestra un diagrama de bloques de una realización de un mecanismo 1000 de control de velocidad en bucle cerrado, que comprende un bucle 1010 interior que funciona en conjunto con un bucle 1020 exterior. El bucle 1010 interior estima las condiciones del canal y determina la velocidad soportada por cada canal espacial de banda ancha. El bucle 1020 exterior estima la calidad de la transmisión de datos recibida en cada canal espacial de banda ancha y ajusta la operación del bucle interior en consecuencia. Por simplicidad, se muestra en la FIG. 10 y se describe a continuación la operación de los bucles 1010 y 1020 para un canal m espacial de banda ancha del enlace descendente.

Para el bucle 1010 interior, el estimador 378 del canal en el terminal 120 de usuario estima el canal m espacial de banda ancha y proporciona estimaciones del canal (por ejemplo, estimaciones de ganancia del canal y estimaciones de variación de ruido). Un selector 1030 de velocidad dentro del controlador 380 determina la velocidad soportada por el canal m espacial de banda ancha en base a (1) las estimaciones del canal desde el estimador 378 del canal, (2) un factor de retroceso de la SNR y/o un ajuste de velocidad para el canal m espacial de banda ancha desde un estimador 1032 de calidad y (3) una tabla 1036 de búsqueda (LUT) de velocidades soportadas por el sistema MIMO y sus SNR requeridas. La velocidad soportada por el canal m espacial de banda ancha se envían por el controlador 380 al punto 110 de acceso. En el punto 110 de acceso, el controlador 330 recibe la velocidad soportada por el canal m espacial de banda ancha y determina la velocidad de datos, codificación y controles de modulación para la transmisión continua de datos a enviar en este canal espacial. La transmisión continua de datos se procesa entonces de acuerdo con estos controles por el procesador de datos 310 de TX, se procesa espacialmente y se multiplexa con los símbolos piloto por el procesador espacial 320 de TX, se acondiciona por los moduladores 322 y se transmite al terminal 120 de usuario.

El bucle 1020 exterior estima la calidad de la transmisión continua de datos decodificados recibida en el canal m espacial de banda ancha y ajusta la operación del bucle 1010 interior. Los símbolos recibidos para el canal m espacial de banda ancha se procesan espacialmente por el procesador espacial 360 de RX y se procesan adicionalmente por el procesador de datos 370 de RX. El procesador de datos 370 de RX proporciona el estado de cada paquete recibido en el canal m espacial de banda ancha y/o mediciones del decodificador para el estimador 1032 de calidad. El bucle 1020 exterior puede proporcionar diferentes tipos de información (por ejemplo, el factor de retroceso de la SNR, un ajuste de velocidad y otros similares) usados para controlar la operación del bucle 1010 interior.

El control de velocidad en bucle cerrado descrito anteriormente se puede realizar así de modo independiente para cada canal espacial de banda ancha del enlace descendente y del enlace ascendente, que puede corresponder a (1)

un modo propio de banda ancha, para el modo dirigido de usuario único, o (2) una antena de transmisión, para los modos no dirigidos de usuario único y usuario múltiple.

E. Planificación de terminales de usuario

5 La FIG. 11 muestra un diagrama de bloques de una realización del controlador 330 y planificador 334 para la planificación de los terminales de usuario para transmisión de datos en el enlace descendente y el enlace ascendente. Dentro del controlador 330, un procesador 1110 de solicitudes recibe solicitudes de acceso transmitidas por el terminal 120 de usuario en el RACH y posiblemente solicitudes de acceso desde otras fuentes. Estas solicitudes de acceso son para transmisión de datos en el enlace descendente y/o enlace ascendente. El procesador 1110 de solicitudes procesa las solicitudes de acceso recibidas y proporciona las identidades (ID) del estado de todos los terminales de usuario solicitantes. El estado de un terminal de usuario puede indicar el número de antenas disponibles en el terminal, si el terminal está calibrado y otros datos similares.

10 Un selector 1120 de velocidad recibe estimaciones del canal desde el estimador 328 del canal y determina las velocidades soportadas por los canales espaciales de banda ancha del enlace descendente y/o del enlace ascendente para los terminales de usuario solicitantes, como se ha descrito anteriormente. Para el enlace descendente, cada terminal 120 de usuario puede determinar la velocidad soportada por cada uno de los canales espaciales de banda ancha, como se ha descrito anteriormente. La velocidad soportada es la velocidad máxima que se puede usar para transmisión de datos en el canal espacial de banda ancha para conseguir el nivel de rendimiento objetivo. Cada terminal 120 de usuario puede enviar las velocidades soportadas para todos sus canales espaciales de banda ancha del enlace descendente al punto 110 de acceso, por ejemplo, a través del RACH. Alternativamente, el punto 110 de acceso puede determinar las velocidades soportadas por los canales espaciales de banda ancha del enlace descendente si (1) el enlace descendente y el enlace ascendente son recíprocos y (2) se proporciona al punto 110 de acceso la variación de ruido o base de ruido en el terminal 120 de usuario. Para el enlace ascendente, el punto 110 de acceso puede determinar la velocidad soportada para cada canal espacial de banda ancha para cada terminal 120 de usuario solicitante.

25 Un selector 1140 de usuario selecciona diferentes conjuntos de uno o más terminales de usuario, de entre todos los terminales de usuario solicitantes, para posibles transmisiones de datos en el enlace descendente y/o enlace ascendente. Los terminales de usuario pueden seleccionarse en base a varios criterios tales como los requisitos del sistema, capacidades del terminal de usuario y velocidades soportadas, prioridad del usuario, la cantidad de datos a enviar y otros similares. Para los modos de multiplexado espacial de múltiples usuarios, los terminales de usuario para cada conjunto pueden seleccionarse también en base a sus vectores de respuesta del canal.

30 Un selector 1130 de modos selecciona el modo de multiplexado espacial particular a usar para cada conjunto de terminales de usuario en base al estado operativo y capacidades de los terminales de usuario en el conjunto y posiblemente otros factores. Por ejemplo, el modo dirigido de usuario único se puede usar para un terminal de usuario de antena múltiple "calibrado" que ha realizado la calibración de modo que la respuesta del canal para un enlace (por ejemplo, el enlace descendente) se puede estimar en base a un piloto (por ejemplo, dirigido) recibido a través del otro enlace (por ejemplo el enlace ascendente). El modo no dirigido de usuario único se puede usar para un terminal de usuario de antena múltiple "no calibrado" que no haya realizado la calibración o no pueda soportar el modo dirigido de usuario único por cualquier razón. El modo dirigido de múltiples usuarios se puede usar para transmisiones del enlace descendente a múltiples terminales de usuario, cada uno de los cuales está equipado con una o más antenas. El modo no dirigido de múltiples usuarios se puede usar para transmisión en el enlace ascendente por múltiples terminales de usuario.

45 El planificador 334 recibe los conjuntos de terminales de usuario desde el selector 1140 de usuarios, el modo de multiplexado espacial seleccionado para cada terminal de usuario establecido desde el selector 1130 de modos y las velocidades seleccionadas para cada terminal de usuario establecidas desde el selector 1120 de velocidades. El planificador 334 planifica los terminales de usuario para transmisión de datos en el enlace descendente y/o enlace ascendente. El planificador 334 selecciona uno o más conjuntos de terminales de usuario para transmisión de datos en el enlace descendente y uno o más conjuntos de terminales de usuario para transmisión de datos en el enlace ascendente para cada trama TDD. Cada conjunto incluye uno o más terminales de usuario y su planificación para transmisión de datos simultáneamente en un intervalo de transmisión indicada dentro de la trama TDD.

50 El planificador 334 forma un elemento de información (IE) para cada terminal de usuario planificado para transmisión de datos en el enlace descendente y/o enlace ascendente. Cada elemento de información incluye (1) el modo de multiplexado espacial a usar para la transmisión de datos, (2) la velocidad a usar para la transmisión continua de datos enviada en cada canal espacial de banda ancha, (3) el comienzo y la duración de la transmisión de datos y (4) posiblemente otra información (por ejemplo, el tipo de piloto que se está transmitiendo junto con la transmisión de datos). El planificador 334 envía los elementos de información para todos los terminales de usuario planificados a través del FCCH. Cada terminal de usuario procesa el FCCH para recuperar su elemento de información y posteriormente recibe una transmisión del enlace descendente y/o envía una transmisión en el enlace ascendente de acuerdo con la información de planificación recibida.

La FIG. 11 muestra una realización de la planificación de terminales de usuario para transmisión de datos cuando se

soportan múltiples modos de multiplexado espacial. La planificación se puede realizar de otras maneras, y esto está dentro del ámbito de la invención.

La **FIG. 12** muestra un diagrama de flujo de un proceso 1200 para la planificación de terminales de usuario para transmisión de datos en un sistema 100 MIMO. Se selecciona un conjunto de al menos un terminal de usuario para transmisión de datos en el enlace descendente y/o enlace ascendente (bloque 1212). Un modo de multiplexado espacial se selecciona para el conjunto de terminales de usuario de entre los múltiples modos de multiplexado espacial soportados por el sistema (bloque 1214). Se seleccionan también múltiples velocidades para múltiples transmisiones continuas de datos a transmitir a través de los múltiples canales espaciales para el conjunto de terminales de usuario (bloque 1216). El conjunto de terminales de usuario se planifica para transmisión de datos en el enlace descendente y/o enlace ascendente con las velocidades seleccionadas y los modos de multiplexado espacial seleccionados (bloque 1218).

La **FIG. 13** muestra un diagrama de flujo de un proceso 1300 para la transmisión de datos en el enlace descendente en el sistema 100 MIMO. El proceso 1300 se puede realizar por parte del punto 110x de acceso. Una primera pluralidad de transmisiones continuas de datos se codifica y modula de acuerdo con una primera pluralidad de velocidades para obtener una primera pluralidad de transmisiones continuas de símbolos de datos (bloque 1312). Para el modo dirigido de usuario único, la primera pluralidad de transmisiones continuas de símbolos de datos se procesa espacialmente con una primera pluralidad de vectores dirigidos para tener una primera pluralidad de transmisiones continuas de símbolos de transmisión para la transmisión desde múltiples antenas a un primer terminal de usuario en un primer intervalo de transmisión (bloque 1314). La primera pluralidad de vectores dirigidos se deduce de modo que la primera pluralidad de transmisiones continuas de datos se transmita en canales espaciales ortogonales al primer terminal de usuario. Se codifica y modula una segunda pluralidad de transmisiones continuas de datos de acuerdo con una segunda pluralidad de velocidades para obtener una segunda pluralidad de transmisiones continuas de símbolos de datos (bloque 1316). Para el modo no dirigido de usuario único, la segunda pluralidad de transmisiones continuas de símbolos de transmisión para la transmisión desde múltiples antenas a un segundo terminal de usuario en un segundo intervalo de transmisión (bloque 1318). Se codifica una tercera pluralidad de datos y se modula para obtener una tercera pluralidad de transmisiones continuas de símbolos de datos (bloque 1320). Para el modo dirigido de múltiples usuarios, la tercera pluralidad de transmisiones continuas de símbolos de datos se procesa espacialmente con una segunda pluralidad de vectores dirigidos para obtener una tercera pluralidad de transmisiones continuas de símbolos de transmisión para la transmisión desde las múltiples antenas a múltiples terminales de usuario en un tercer intervalo de transmisión (bloque 1322). La segunda pluralidad de vectores dirigidos se deduce de modo que la tercera pluralidad de transmisiones continuas de símbolos de datos se reciba con la interferencia cruzada suprimida en los múltiples terminales de usuario.

La **FIG. 14** muestra un diagrama de flujo de un proceso 1400 para la recepción de datos en el enlace ascendente en el sistema 100 MIMO. El proceso 1400 se puede realizar también por parte del punto 110x de acceso. El procesamiento espacial en el receptor se realiza en una primera pluralidad de transmisiones continuas de símbolos recibidos de acuerdo con un primer modo de multiplexado espacial (por ejemplo, el modo dirigido de usuario único) para obtener una primera pluralidad de transmisiones continuas de símbolos de datos recuperados (bloque 1412). La primera pluralidad de transmisiones continuas de símbolos de datos recuperados se demodula y decodifica de acuerdo con una primera pluralidad de velocidades para obtener una primera pluralidad de transmisiones continuas de datos decodificados (bloque 1414). El procesamiento espacial en el receptor se realiza sobre una segunda pluralidad de transmisiones continuas de símbolos recibidos de acuerdo con un segundo modo de multiplexado espacial (por ejemplo modo no dirigido) para obtener una segunda pluralidad de transmisiones continuas de símbolos de datos recuperados (bloque 1416). La segunda pluralidad de transmisiones continuas de símbolos de datos recuperados se demodula y decodifica de acuerdo con una segunda pluralidad de velocidades para obtener una segunda pluralidad de transmisiones continuas de datos decodificados, que son estimaciones de las transmisiones continuas de datos transmitidas mediante uno o múltiples terminales de usuario (bloque 1418).

Cada terminal de usuario realiza el proceso correspondiente para transmitir datos en uno o múltiples canales espaciales de banda ancha del enlace ascendente y para recibir datos en uno o múltiples canales espaciales de banda ancha del enlace descendente.

La transmisión de datos con múltiples modos de multiplexado espacial, como se ha descrito en el presente documento, se puede implementar por varios medios. Por ejemplo, el procesamiento se puede implementar en hardware, software o una combinación de los mismos. Para una implementación en hardware, las unidades de procesamiento usadas para realizar el procesamiento de datos, procesamiento espacial y planificación en el punto de acceso se pueden implementar dentro de uno o más circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), procesadores de señal digital (DSP), dispositivos de procesamiento de señales digitales (DSPD), dispositivos lógicos programables (PLD), matrices de puertas programables en campo (FPGA), procesadores, controladores, microcontroladores, microprocesadores, otras unidades electrónicas diseñadas para realizar las funciones descritas en el presente documento, o una combinación de los mismos. Las unidades de procesamiento en un terminal de usuario se pueden implementar también en uno o más ASIC, DSP, y otros similares.

Para una implementación en software, el procesamiento en el punto de acceso y el terminal de usuario para

5 transmisión de datos con múltiples modos de multiplexado espacial se puede implementar con módulos (por ejemplo, procedimientos, funciones y otros similares) que realicen las funciones descritas en el presente documento. Los códigos de software se pueden almacenar en una unidad de memoria (por ejemplo la unidad de memoria 332 ó 382 en la FIG. 3) y ejecutarse por un procesador (por ejemplo el controlador 330 ó 380). La unidad de memoria se puede implementar dentro del procesador o externamente al procesador.

Se incluyen en el presente documento cabeceras por referencia y para ayudar a la localización de ciertas secciones. Estas cabeceras no se pretende que limiten el ámbito de los conceptos descritos en el presente documento bajo ellas y estos conceptos pueden tener aplicabilidad en otras secciones a todo lo largo de la especificación completa.

10 Se proporciona la descripción previa de las realizaciones desveladas para permitir a cualquier experto en la materia hacer uso de la presente invención. Pueden ser fácilmente evidentes varias modificaciones a estas realizaciones para los expertos en la materia, y los principios genéricos definidos en el presente documento se pueden aplicar a otras realizaciones sin apartarse del espíritu o ámbito de la invención. Por ello, la presente invención no se pretende que se limite a las realizaciones mostradas en el presente documento sino que ha de estar de acuerdo con el ámbito consistente con los principios y características novedosas desvelados en el presente documento.

15

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de transmisión de datos en un sistema de comunicación de entrada múltiple salida múltiple (MIMO) de acceso múltiple inalámbrico, que comprende:

5 la selección (1212) de un primer terminal de usuario para transmisión de datos en un primer intervalo de transmisión;
 la selección (1214) de un primer modo de multiplexado espacial para su uso por el primer terminal de usuario;
 la selección (1212) de un segundo terminal de usuario para transmisión de datos en un segundo intervalo de transmisión;
 10 la selección (1214) de un segundo modo de multiplexado espacial para su uso por el segundo terminal de usuario, en el que al menos uno de entre el primer y el segundo modo de multiplexado espacial es un modo de multiplexado espacial dirigido;
 la planificación (1218) del primer terminal de usuario para transmisión de datos en el primer intervalo de transmisión con el primer modo de multiplexado espacial; y
 15 la planificación (1218) del segundo terminal de usuario para transmisión de datos en el segundo intervalo de transmisión con el segundo modo de multiplexado espacial.

2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el primer modo de multiplexado espacial es un modo de multiplexado espacial dirigido y el segundo modo de multiplexado espacial es un modo de multiplexado espacial no dirigido.

3. El procedimiento de la reivindicación 2, que comprende adicionalmente:

20 procesar (1314) espacialmente una primera pluralidad de transmisiones continuas de datos con una pluralidad de vectores dirigidos para transmitir la primera pluralidad de transmisiones continuas de datos en canales espaciales ortogonales de un canal MIMO para el primer terminal de usuario, y proporcionar (1318) una segunda pluralidad de transmisiones continuas de datos para su transmisión desde una pluralidad de antenas al segundo terminal de usuario.

25 4. El procedimiento de la reivindicación 2, que comprende adicionalmente:

realizar (1412) un procesamiento espacial del receptor en una primera pluralidad de transmisiones continuas de símbolos recibidos con una pluralidad de vectores propios para obtener estimaciones de una primera pluralidad de transmisiones continuas de datos transmitidos por el primer terminal de usuario; y
 30 realizar (1416) un procesamiento espacial del receptor en una segunda pluralidad de transmisiones continuas de símbolos recibidos de acuerdo con un filtro espacial para obtener estimaciones de una segunda pluralidad de transmisiones continuas de datos transmitidos por el segundo terminal de usuario.

5. El procedimiento de la reivindicación 2, que comprende adicionalmente:

35 seleccionar una primera pluralidad de velocidades para una primera pluralidad de transmisiones continuas de datos a transmitir a través de una primera pluralidad de canales espaciales de un primer canal MIMO para el primer terminal de usuario; y seleccionar una segunda pluralidad de velocidades para una segunda pluralidad de transmisiones continuas de datos a transmitir a través de una segunda pluralidad de canales espaciales de un segundo canal MIMO para el segundo terminal de usuario y en el que el primer terminal de usuario se planifica adicionalmente con la primera pluralidad de velocidades y el segundo terminal de usuario se planifica con la segunda pluralidad de velocidades.
 40

6. Un aparato en un sistema de comunicación de entrada múltiple salida múltiple (MIMO) de acceso múltiple inalámbrico, que comprende:

45 medios (330) para la selección de un primer terminal de usuario para la transmisión de datos en un primer intervalo de transmisiones;
 medios (330) para la selección de un primer modo de multiplexado espacial para su uso por el primer terminal de usuario;
 medios (330) para la selección de un segundo terminal de usuario para la transmisión de datos en un segundo intervalo de transmisión;
 50 medios (330) para la selección de un segundo modo de multiplexado espacial para su uso por el segundo terminal de usuario, en el que al menos uno de entre el primer y el segundo modo de multiplexado espacial es un modo de multiplexado espacial dirigido;
 medios (334) para la planificación del primer terminal de usuario para la transmisión de datos en el primer intervalo de transmisión con el primer modo de multiplexado espacial; y
 55 medios (334) para la planificación del segundo terminal de usuario para la transmisión de datos en el segundo intervalo de transmisión con el segundo modo de multiplexado espacial.

7. El aparato de la reivindicación 6, en el que el primer modo de multiplexado espacial es un modo de multiplexado

espacial dirigido y el segundo modo de multiplexado espacial es un modo de multiplexado espacial no dirigido.

8. El aparato de la reivindicación 7, que comprende adicionalmente:

5 medios (320) para el procesamiento espacialmente de una primera pluralidad de transmisiones continuas de datos con una pluralidad de vectores dirigidos para transmitir la primera pluralidad de transmisiones continuas de datos sobre canales espaciales ortogonales de un canal MIMO para el primer terminal de usuario; y
medios para proporcionar una segunda pluralidad de transmisiones continuas de datos para su transmisión desde una pluralidad de antenas al segundo terminal de usuario.

9. El aparato de la reivindicación 7, que comprende adicionalmente:

10 medios para la realización de un procesamiento espacial del receptor en una primera pluralidad de transmisiones continuas de símbolos recibidos con una pluralidad de vectores propios para obtener estimaciones de una primera pluralidad de transmisiones continuas de datos transmitidos por el primer terminal de usuario; y
15 medios para la realización de un procesamiento espacial del receptor en una segunda pluralidad de transmisiones continuas de símbolos recibidos de acuerdo con un filtro espacial para obtener estimaciones de una segunda pluralidad de transmisiones continuas de datos transmitidos por el segundo terminal de usuario.

10. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 4, en el que,

el medio para la selección del primer terminal de usuario y el medio para la selección del segundo terminal de usuario es un selector de usuarios;
20 el medio para la selección del primer modo de multiplexado espacial y el medio para la selección del segundo modo de multiplexado espacial es un selector de modos y en el que al menos uno de entre el primer y el segundo modos de multiplexado espacial es un modo de multiplexado espacial dirigido; y
el medio para la planificación del primer terminal de usuario y el medio para la planificación del segundo terminal de usuario es un planificador.

11. El aparato de la reivindicación 10, en el que el primer modo de multiplexado espacial es un modo de multiplexado espacial dirigido y el segundo modo de multiplexado espacial es un modo de multiplexado espacial no dirigido.

12. El aparato de la reivindicación 11, que comprende adicionalmente:

30 un procesador espacial de transmisión operativo para procesar espacialmente una primera pluralidad de transmisiones continuas de datos con una pluralidad de vectores dirigidos para transmitir la primera pluralidad de transmisiones continuas de datos en canales espaciales ortogonales de un canal MIMO para el primer terminal de usuario,
y proporcionar una segunda pluralidad de transmisiones continuas de datos para su transmisión desde una pluralidad de antenas al segundo terminal de usuario.

13. El aparato de la reivindicación 11, que comprende adicionalmente:

35 un procesador espacial del receptor operativo para realizar un procesamiento espacial del receptor en una primera pluralidad de transmisiones continuas de símbolos recibidos con una pluralidad de vectores propios para obtener estimaciones de una primera pluralidad de transmisiones continuas de datos transmitidos por el primer terminal de usuario, y para realizar un procesamiento espacial del receptor sobre una segunda pluralidad de transmisiones continuas de símbolos recibidos de acuerdo con un filtro espacial para obtener
40 estimaciones de una segunda pluralidad de transmisiones continuas de datos transmitidos por el segundo terminal de usuario.

14. Un programa de ordenador para la implementación del procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 cuando se ejecuta por un procesador.

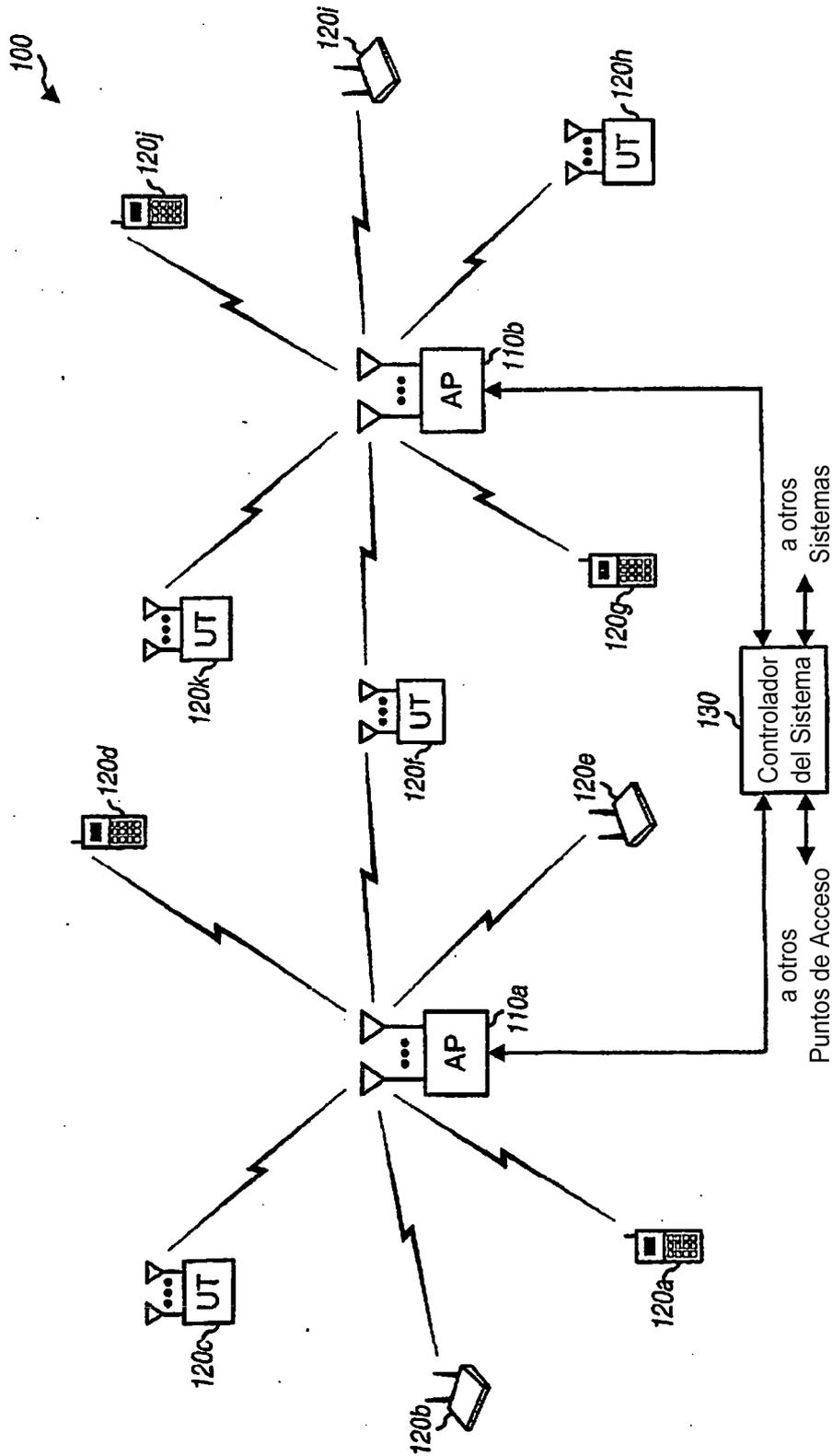


FIG. 1

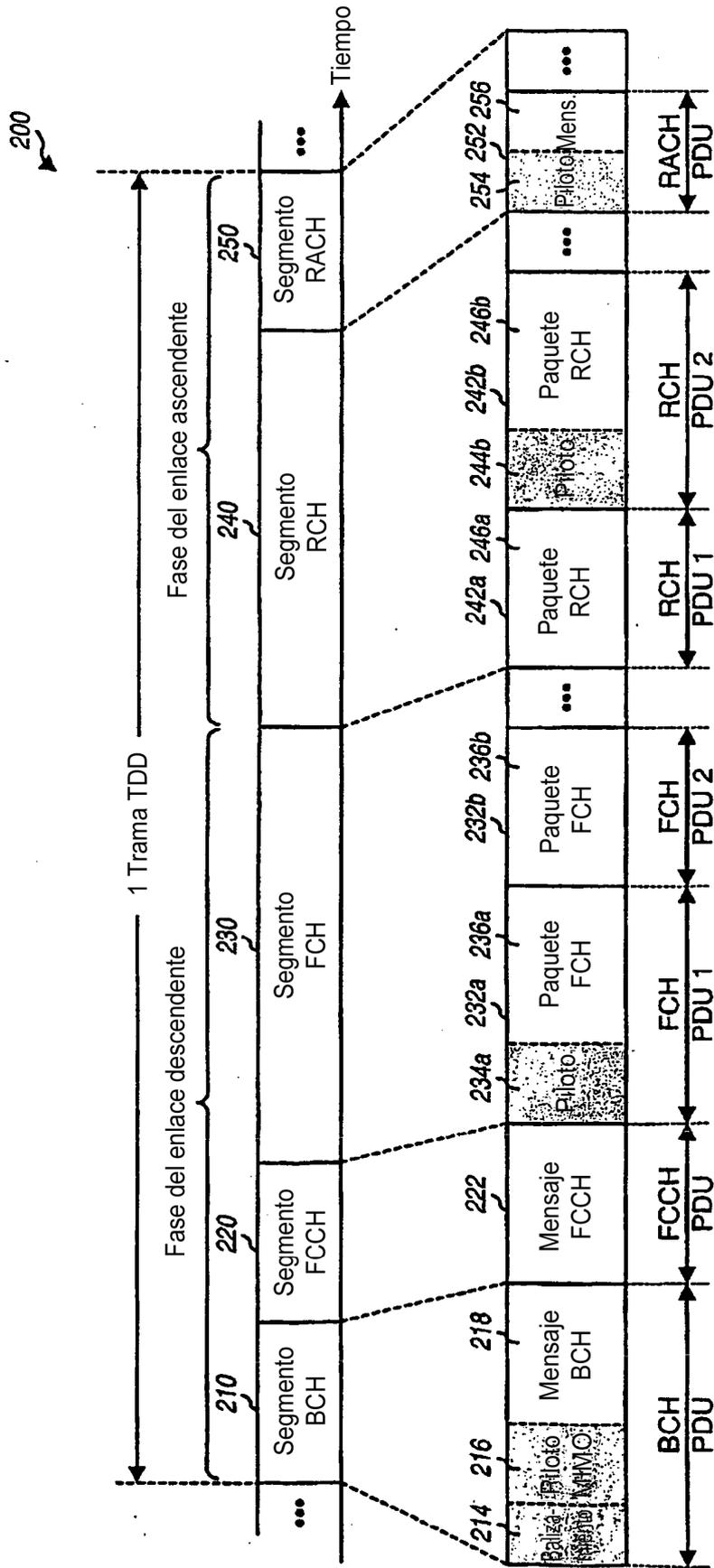


FIG. 2

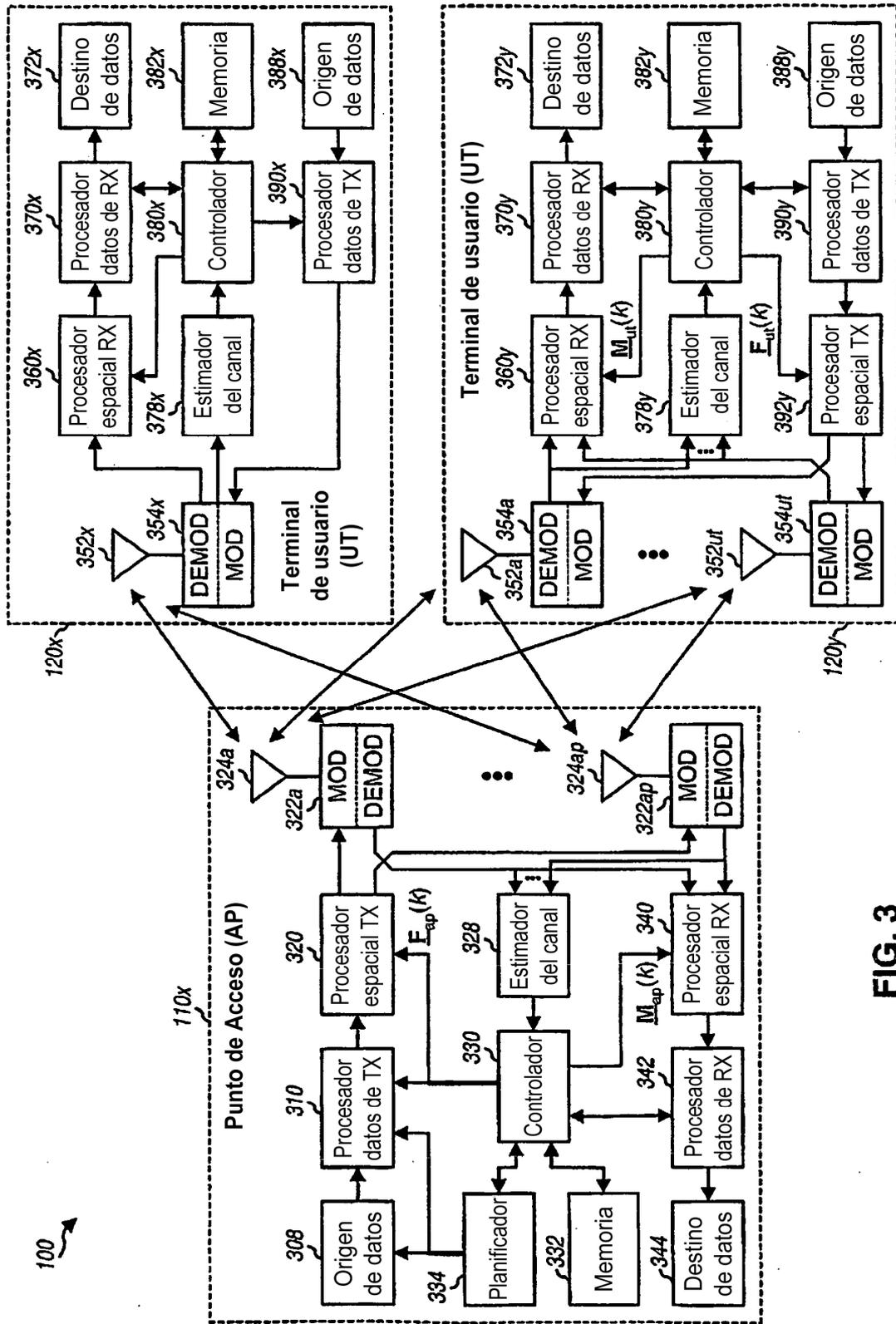


FIG. 3

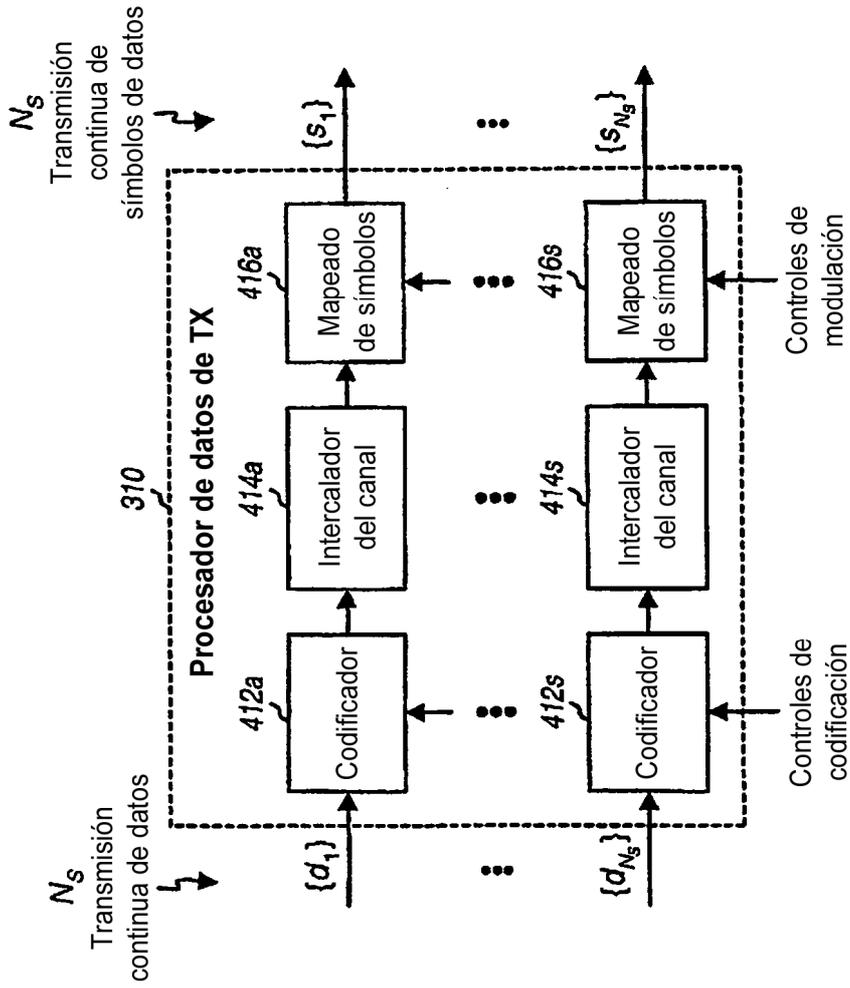


FIG. 4

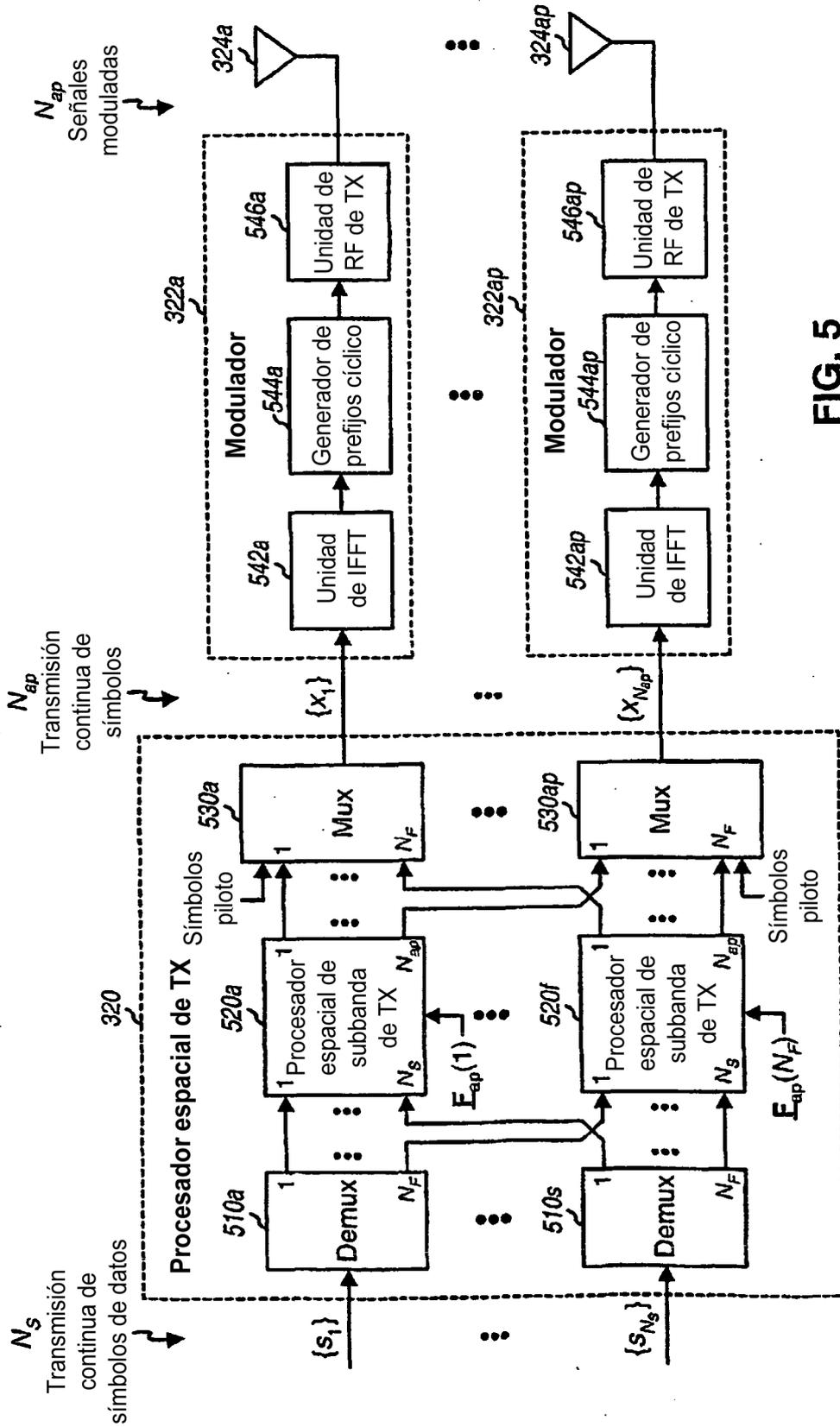


FIG. 5

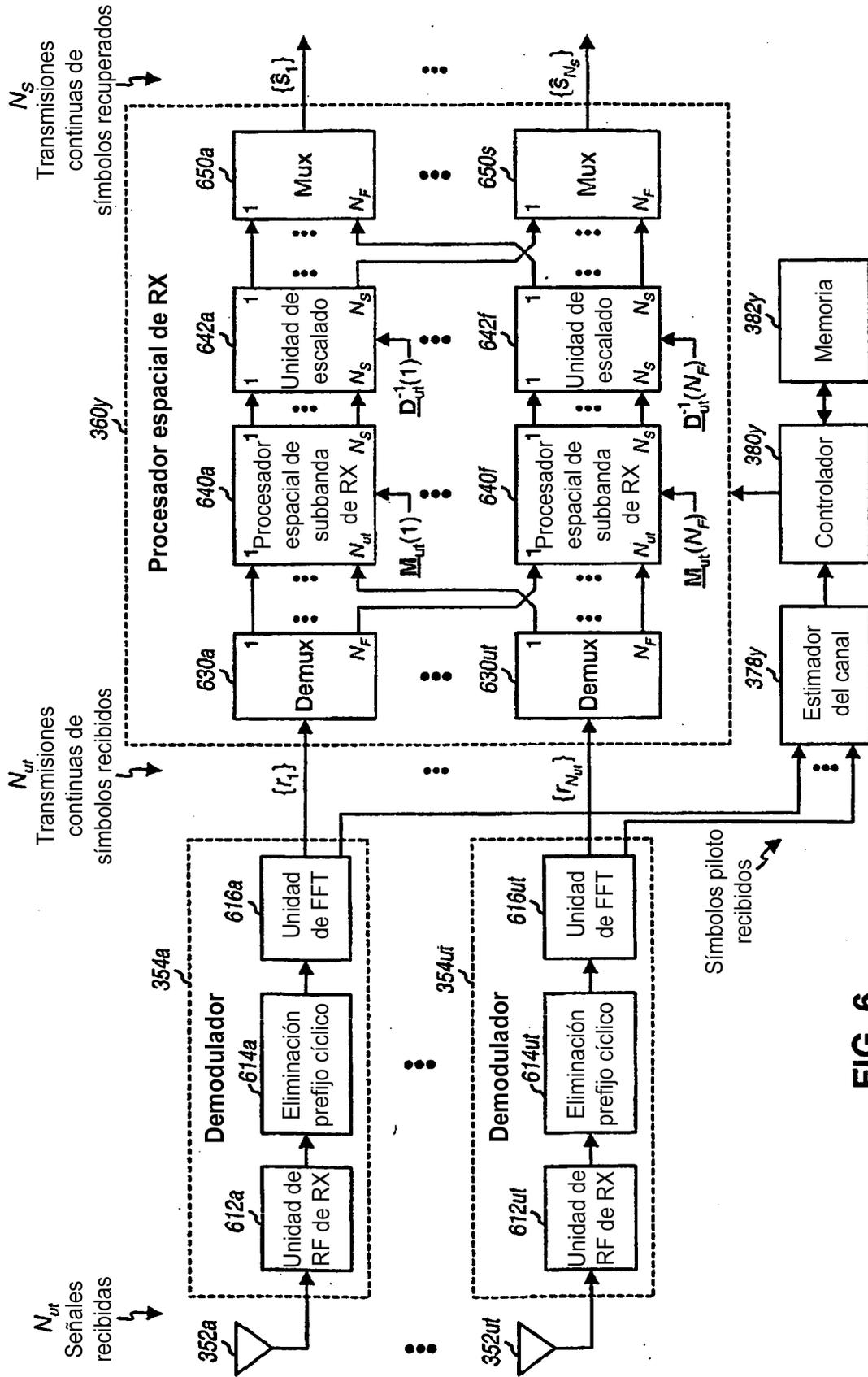


FIG. 6

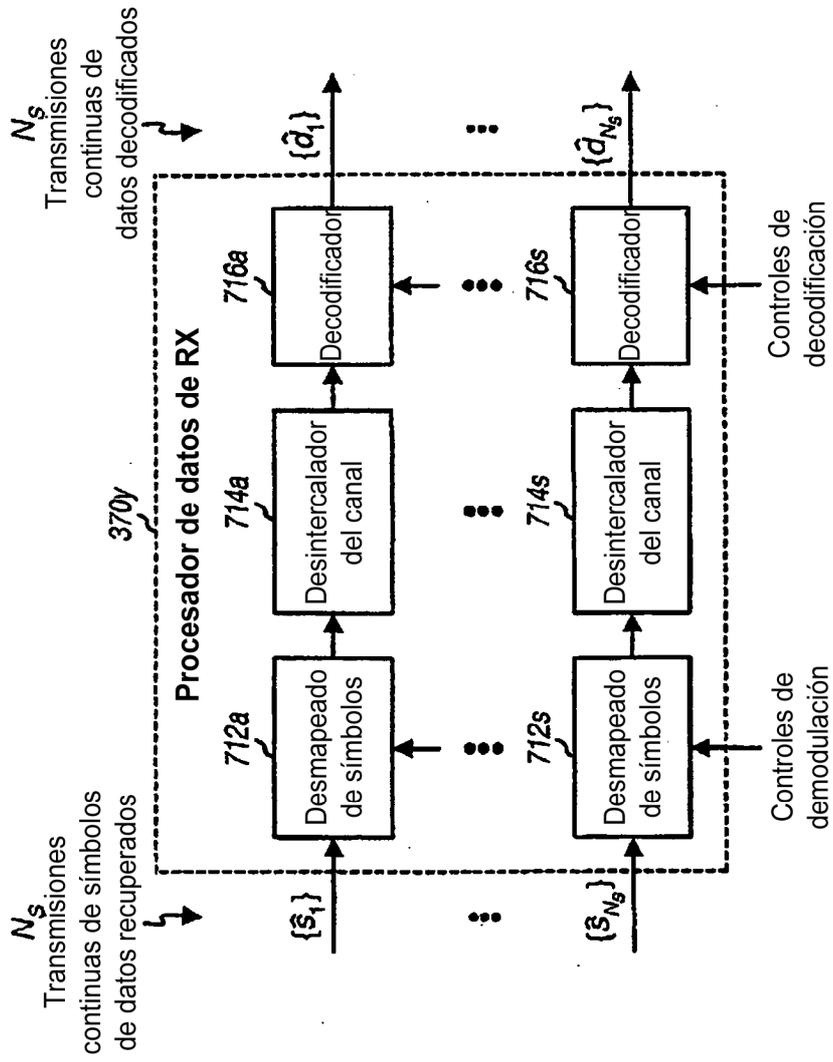


FIG. 7

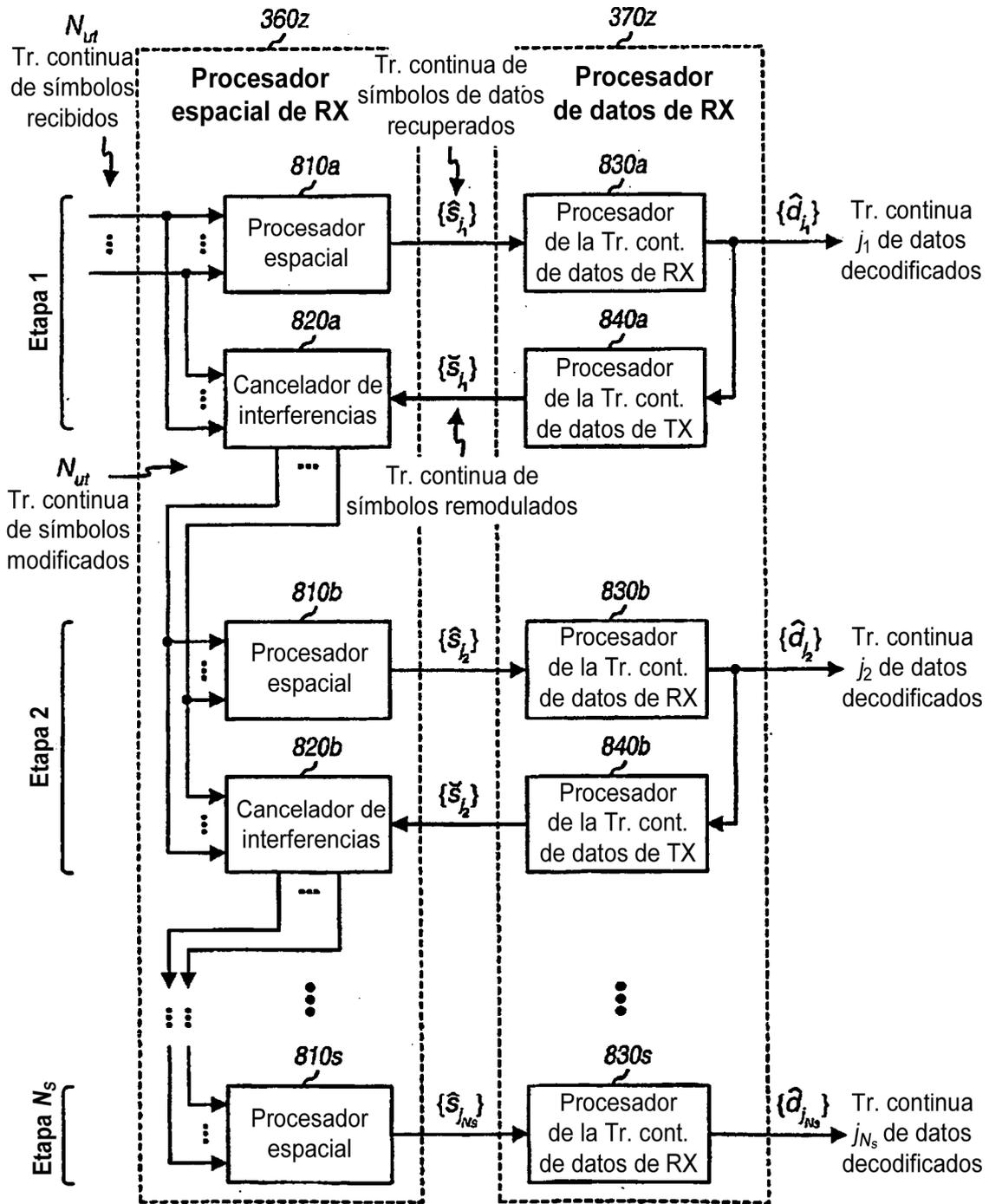


FIG. 8

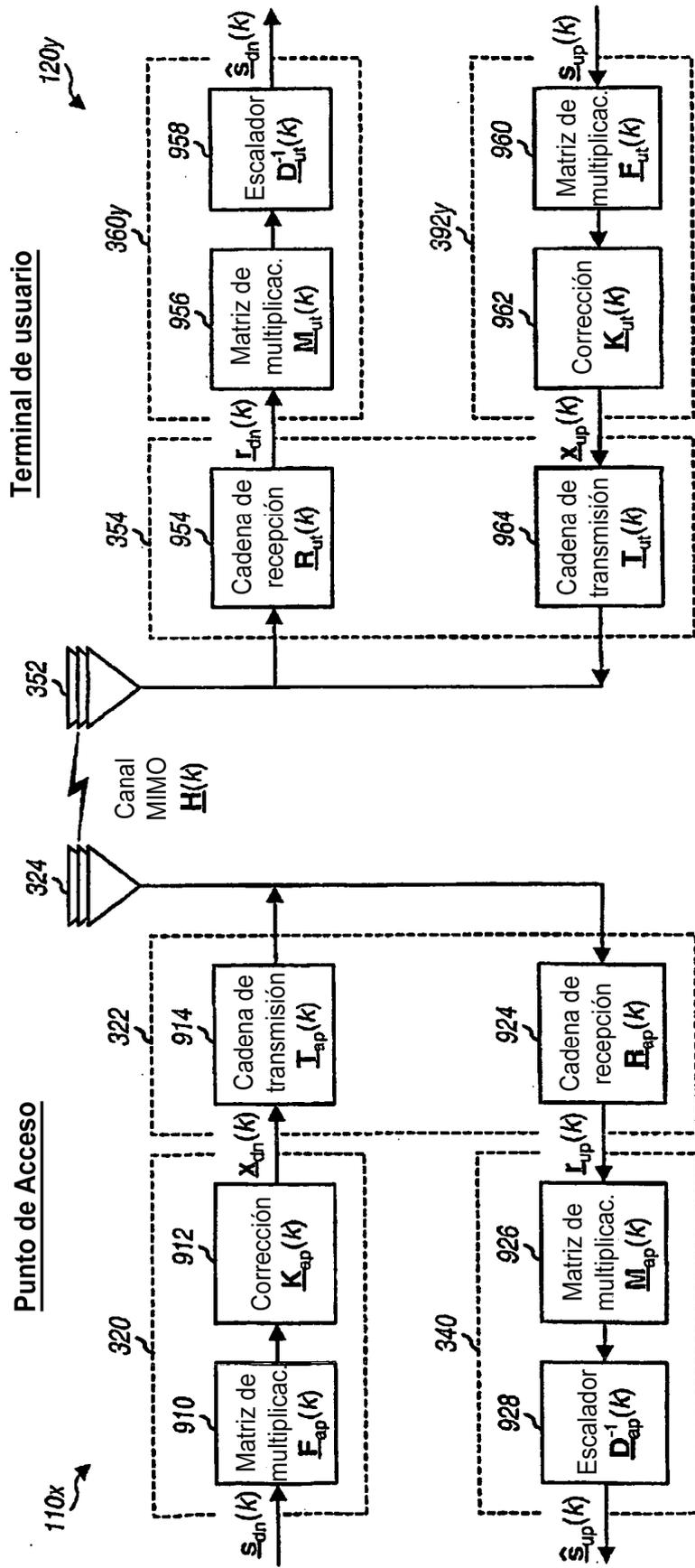


FIG. 9

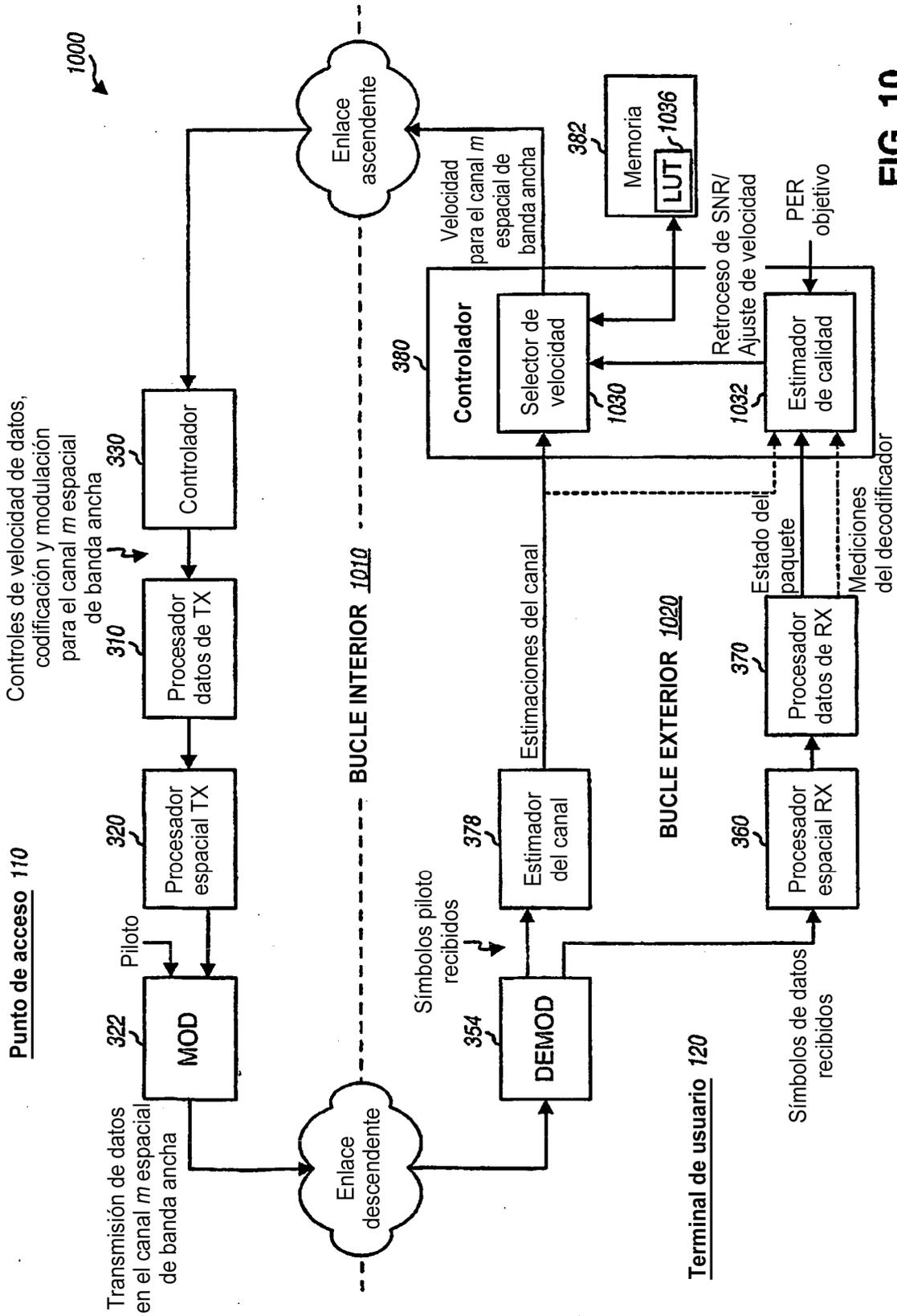


FIG. 10

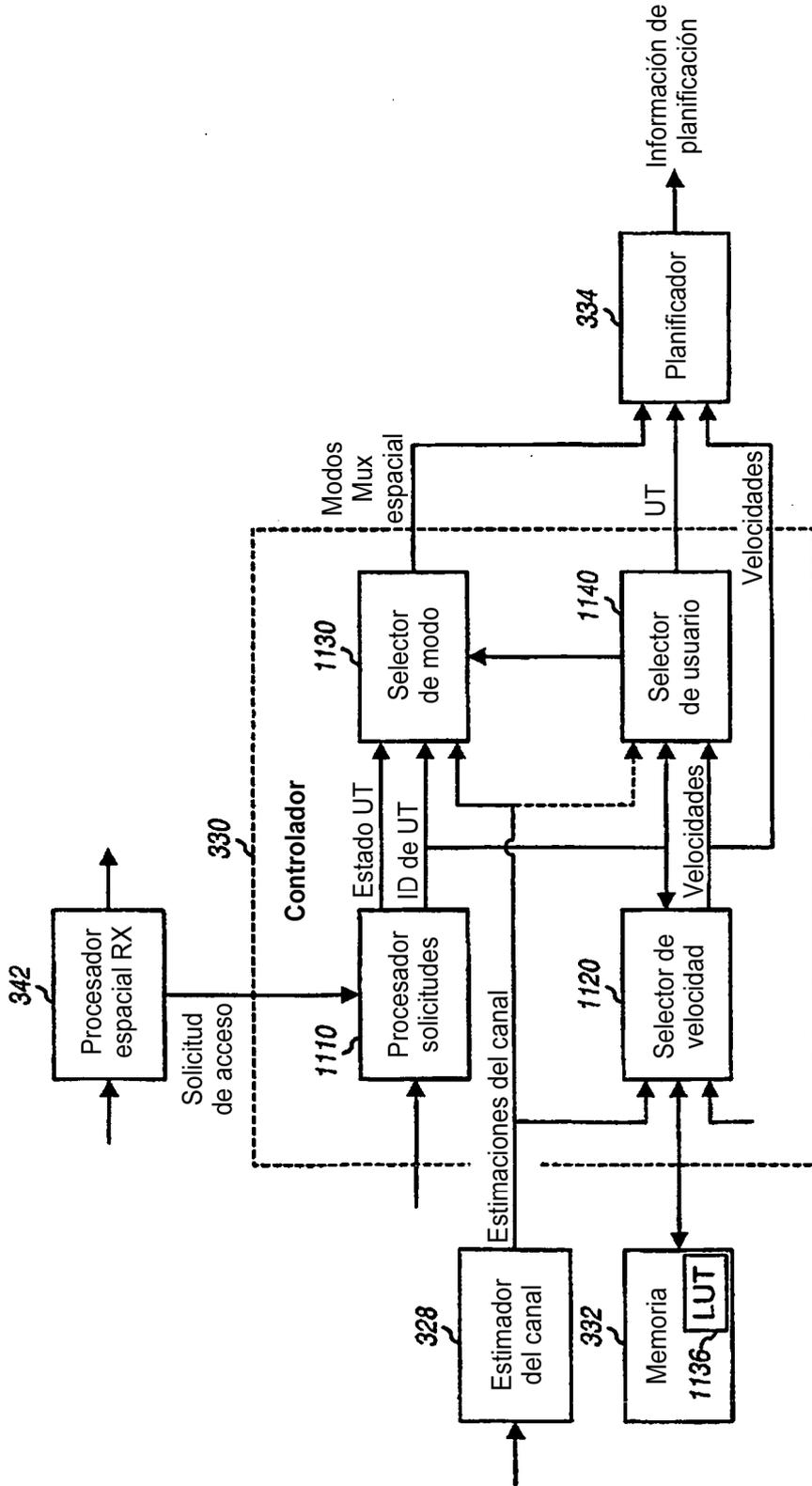


FIG. 11

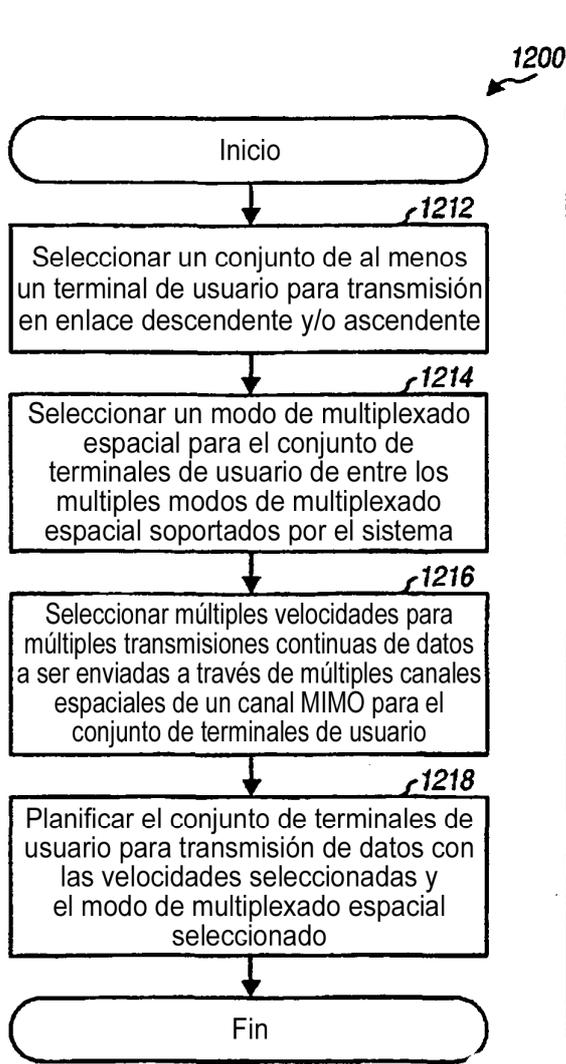


FIG. 12

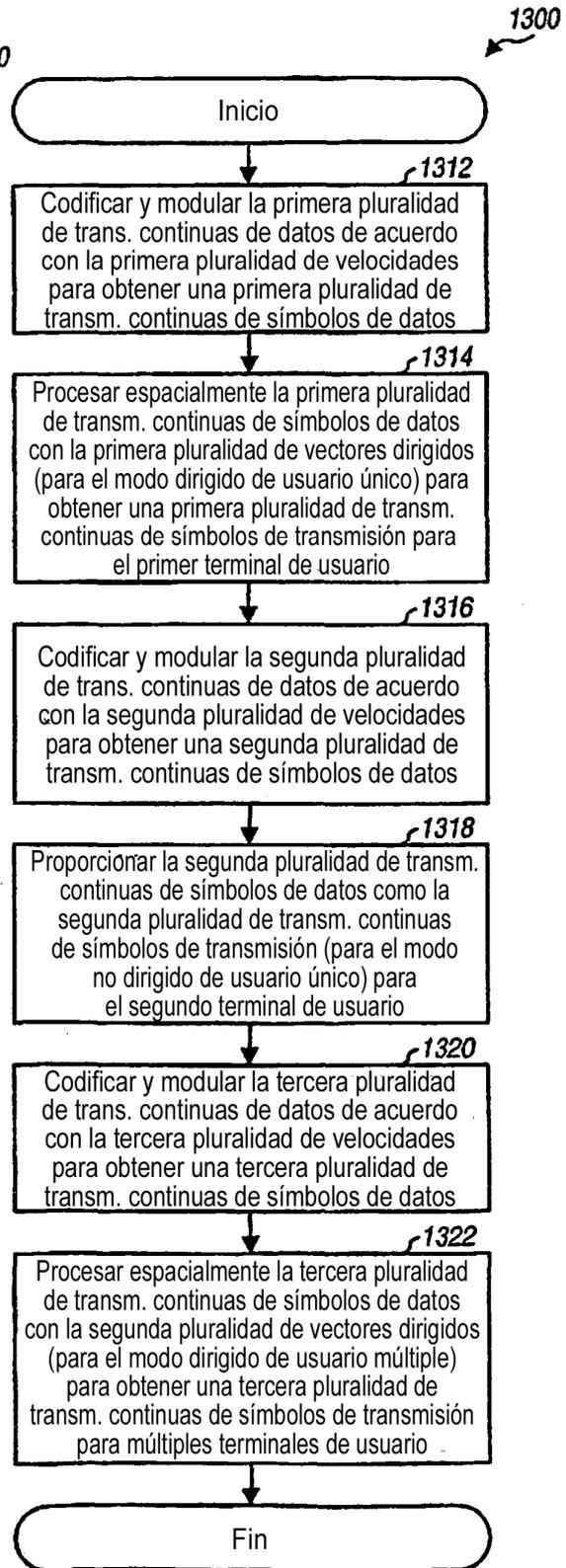


FIG. 13

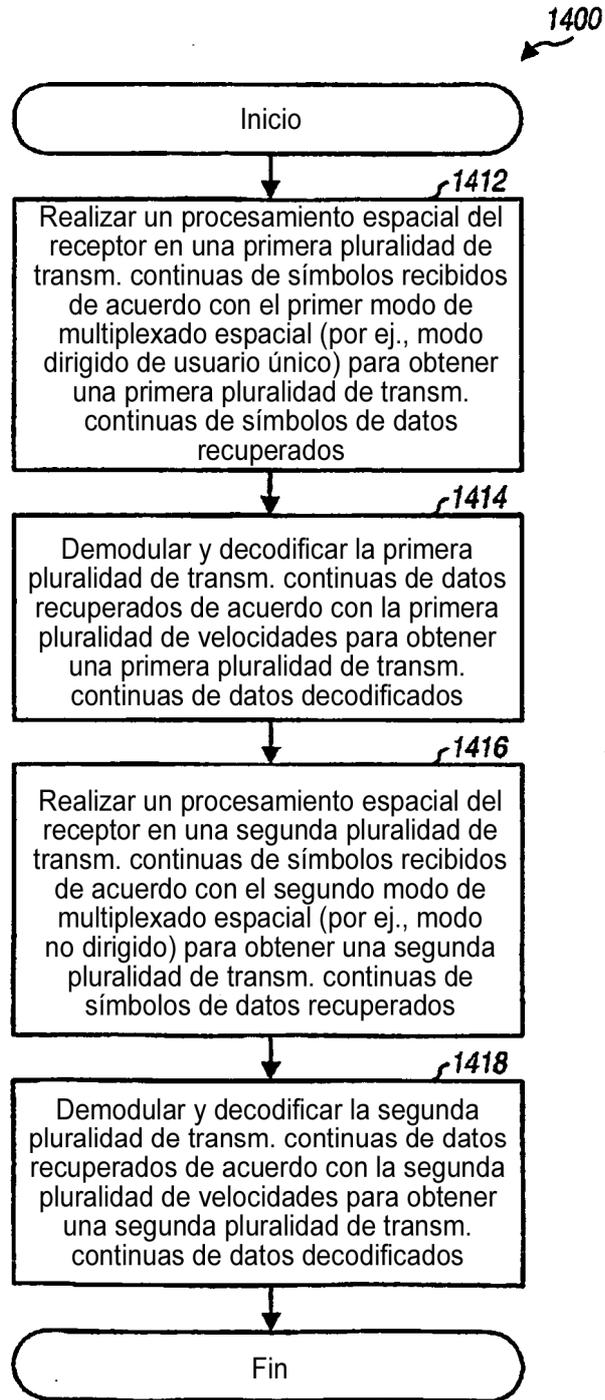


FIG. 14